



**SKRIPSI - ME 141501**

**ANALISA PENERAPAN TURBIN MC CORMICK  
DAN TURBIN MASUDA PADA PLTGL TIPE  
OWC FIXED DI PANTAI SELATAN JAWA  
TIMUR DENGAN SIMULASI COMPUTATIONAL  
FLUID DYNAMIC**

**RISA SETYANINGSIH  
NRP 4213 100 016**

**Dosen Pembimbing  
Juniarko Prananda S.T, M.T**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**BACHELOR THESIS - ME 141501**

**THE APPLICATION ANALYSIS OF MC  
CORMICK TURBINE AND MASUDA TURBINE IN  
PLTGL OWC FIXED TYPE AT SOUTH COAST  
OF EAST JAVA USING COMPUTATIONAL  
FLUID DYNAMIC SIMULATION**

**RISA SETYANINGSIH  
NRP 4213 100 016**

**Supervisor  
Juniarko Prananda S.T, M.T**

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING  
Faculty of Marine Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017**

*This page is intentionally left blank*

## LEMBAR PENGESAHAN

# ANALISA PENERAPAN TURBIN MC CORMICK DAN TURBIN MASUDA PADA PLTGL TIPE OWC FIXED DI PANTAI SELATAN JAWA TIMUR DENGAN SIMULASI COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC

## TUGAS AKHIR


Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System*  
(MEAS)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Risa Setyaningsih**  
NRP 4213 100 016

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Juniarko Prananda S.T, M.T

(  )

SURABAYA  
Juli, 2017

## LEMBAR PENGESAHAN

# ANALISA PENERAPAN TURBIN MC CORMICK DAN TURBIN MASUDA PADA PLTGL TIPE OWC FIXED DI PANTAI SELATAN JAWA TIMUR DENGAN SIMULASI COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC

## TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System*  
(MEAS)

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Risa Setyaningsih**  
NRP 4213 100 016

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.

NIP. 1977 0802 2008 01 1007

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## ABSTRAK

**Nama Mahasiswa** : Risa Setyaningsih  
**NRP** : 4213 100 016  
**Jurusan** : Teknik Sistem Perkapalan  
**Dosen Pembimbing** : Juniarko Prananda S.T, M.T

*Oscillating water column (OWC)* adalah salah satu metode yang dapat diterapkan dalam pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL), pada teknologi OWC ini, digunakan tekanan udara dari ruangan kedap air untuk menggerakkan turbin yang nantinya pergerakan turbin ini digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Ruangan kedap air ini dipasang tetap dengan struktur bawah terbuka ke laut. Tekanan udara pada ruangan kedap air ini disebabkan oleh pergerakan naik-turun dari permukaan gelombang air. Gerakan gelombang di dalam ruangan ini merupakan gerakan compresses dan gerakan decompresses yang ada di atas tingkat air di dalam ruangan. Gerakan ini mengakibatkan, dihasilkannya sebuah alternating streaming kecepatan tinggi dari udara. Aliran udara ini didorong melalui pipa ke turbin generator yang digunakan untuk menghasilkan listrik.

*Oscillating water column (OWC)* dapat divariasikan menjadi beberapa jenis turbin, misalnya yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah turbin Masuda dan turbin Mc Cormick. Parameter yang digunakan sebagai pembanding dari kedua jenis turbin adalah *total annual energy*.

Dari simulasi dan perhitungan yang telah dilakukan menggunakan model turbin Mc Cormick, didapatkan hasil *annual energy* ; Pantai Bandelait 22.211, 09 Watt/year, Pantai Tamban 30.253, 49 Watt/year, Pantai Payangan 18.750, 88 Watt/year, Pantai Watukarung 44.305, 68 Watt/year.



Dari simulasi dan perhitungan yang telah dilakukan menggunakan model turbin Masuda, didapatkan hasil *annual energy* ; Pantai Bandialit 10.909, 07 Watt/year, Pantai Tamban 17.705, 42 Watt/year, Pantai Payangan 10.482, 92 Watt/year, Pantai Watukarung 27.683, 35 Watt/year.

Kata kunci : turbin Mc Cormick, turbin Masuda, *oscillating water column*, *annual energy*, *wave energy*, *air turbine*, daya turbin, *tip speed ratio*.

## ABSTRACT

**Name** : Risa Setyaningsih  
**NRP** : 4213 100 016  
**Department** : Marine Engineering  
**Supervisors** : Juniarko Prananda S.T, M.T

*Oscillating water column (OWC) is one of technology that can be applied in the making of wave energy based electricity plant, in this kind of technology, the air pressure from watertight space used to move the turbine to produce electricity energy. This watertight space permanently constructed with an opening towards the sea water. This air pressure occurs caused by the sea wave moving ups and downs.*

*The movement that happens in the watertight space is the kind of compresses and decompresses take place beyond the water level in the watertight space. This movement is the cause of an alternating streaming high in speed courtesy the air. This air stream pushed through the pipe towards the generator turbine aiming to harness electrical power.*

*Oscillating water column can be classified turbine-based, e.g Mc Cormick turbine and Masuda turbine. The comparison parameter used in this project is the total calculation of annual energy.*

*From the simulation and calculation done using both of the turbine models, the total annual energy of Bandalit is 22.211, 09 Watt/year, Tamban 30.253, 49 Watt/year, Payangan 18.750, 88 Watt/year, and Watukarung 44.305 Watt/year, the total annual energy above are harnessed by Mc Cormick turbine model.*

*While Masuda turbine simulation produced 10.909, 07 Watt/year in Bandalit, 17.705, 42 Watt/year in Tamban, 10.482, 92 Watt/year in Payangan, and 27.683, 35 Watt/year in Watukarung.*

Keywords: *Mc Cormick turbine, Masuda turbine, oscillating water column, annual energy, wave energy, air turbine, turbine power, tip speed ratio.*

## KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan puji syukur kepada Allah Subhana Wataala karena anugerah dan kuasa-Nya sehingga tugas akhir dengan judul **“Analisa Penerapan Turbin Mc Cormick dan Turbin Masuda Pada PLTGL Tipe OWC Fixed di pantai Selatan Jawa Timur dengan Simulasi Computational Fluid Dynamic”** ini dapat diselesaikan dengan baik. Tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik oleh penulis juga atas bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karenanya penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Sugiyanto dan Ibu Tyni Prihatini serta kakak dan saudara kembar Rina Hasanawati dan Pipin Setyanto, yang telah bersedia mendengar keluh kesah, memberikan dukungan baik moril maupun materi, dan doa yang tulus ikhlas kepada penulis saat menghadapi kesulitan dalam pengerjaan Tugas Akhir, sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
2. Bapak Ir. Sardono Sarwito, M.Sc selaku Kepala Laboratorium MEAS, yang selalu mengarahkan, membimbing dan memotivasi penulis dengan baik.
3. Bapak Juniarko Prananda, S.T, M.T selaku dosen pembimbing, yang telah memberi banyak perhatian dan masukan selama proses pengerjaan tugas akhir
4. Bapak dan Ibu pegawai dan karyawan BMKG Maritim Perak II, yang telah membantu penulis untuk mendapatkan data tugas akhir yang dibutuhkan.
5. Bapak Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc selaku dosen wali yang selalu memberikan motivasi dan dukungan untuk penulis
6. Teman-teman Laboratorium MEAS, yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu, yang telah bersama-sama berjuang mengerjakan Tugas Akhir ini.
7. Caesar Wiratama, yang telah membantu dalam proses running Tugas Akhir.

8. Ciwi-ciwi Barakuda 13 yang selalu Strong dan selalu berjuang untuk Masa depan masing-masing.
9. Semua teman-teman Barakuda 13 atas kerjasama dan dukungan selama ini. Teman-teman yang selalu menguatkan satu sama lain. Sukses buat kita semua.
10. Teman ke TP Septi, Wiwin, Imin, Chia, Kharis
11. Teman-teman kelompok Kerja Praktek BKI Semarang, Sono, Dwiko, Agung, Ila, Hafizh, Fikri dan Rizki, semangat rek!
12. Teman-teman SC Himasiskal 14/15, mas Viky, mas Dimas, mas Hadits, mas Hanif, mbak Devi, Wasis, Ipul
13. Teman-teman tiba-tiba kenal, May, Fahmi, Aini
14. Dan semua pihak yang terlibat dan berkontribusi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis sangat membutuhkan saran untuk dapat menyempurnakan tugas akhir ini dengan baik dan dapat bermanfaat bagi pembaca.

Akhir kata, semoga Tuhan YME melimpahkan KaruniaNya kepada kita semua. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Surabaya, Juli 2017  
Penulis.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	4
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan Skripsi .....	5
1.5 Manfaat .....	6
1.6 Sistematika Penulisan .....	6
<b>BAB II DASAR TEORI.....</b>	<b>7</b>
2.1 Pembangkit Listrik.....	7
2.1.1 Aspek Pemilihan Pembangkit Listrik .....	9
2.1.2 Komponen Utama PLTGL .....	11

2.2 <i>Oscillating Water Column</i> .....	18
2.3 Proses Terjadinya Gelombang Laut .....	19
2.3.1 Faktor yang Mempengaruhi Gelombang Laut .....	21
2.4 Sistem Tenaga .....	29
2.5 Pembangunan <i>Oscillating Water Column</i> .....	30
2.6 Dasar Teori .....	39
2.6.1 Perhitungan Energi Gelombang.....	39
2.6.2 Perhitungan Daya Gelombang yang Dihasilkan OWC .....	40
2.6.3 Perhitungan <i>Annual Energy</i> .....	44
<b>BAB III METODOLOGI</b> .....	<b>47</b>
3.1 Perumusan Masalah .....	48
3.2 Studi Literatur .....	48
3.3 Pengumpulan Data .....	49
3.4 Desain Alat.....	49
3.5 Uji Coba Alat .....	49
3.6 Perhitungan <i>Annual Energy</i> .....	50
3.7 Kesimpulan .....	50
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>51</b>
4.1 Gambaran Umum.....	51
4.2 Data .....	53
4.2.1 Data Ketinggian Gelombang Laut .....	53
4.2.2 Data Daya Gelombang Laut .....	57
4.2.3 Data Kecepatan Udara Pada OWC .....	61
4.2.4 Data Kecepatan dan Kapasitas Udara Pada <i>Orifice</i> .....	64
4.2.5 Data Potensial Kecepatan Udara Pada <i>Orifice</i> .....	67
4.2.6 Data Tekanan Udara Pada <i>Orifice</i> .....	70
4.2.7 Data Torsi dan <i>Mass Flow</i> .....	73



4.2.8	Analisa Perbandingan Energi Tahunan .....	76
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN .....</b>	<b>91</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>95</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>97</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>		<b>98</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Ketinggian gelombang laut pantai Bandealit tahun 2016.....	54
Tabel 4. 2 Ketinggian gelombang laut pantai Tamban tahun 2016.....	54
Tabel 4. 3 Ketinggian gelombang laut pantai Payangan tahun 2016.....	55
Tabel 4. 4 Ketinggian gelombang laut pantai Watukarung tahun 2016.....	55
Tabel 4. 5 Daya gelombang laut pantai Bandealit tahun 2016.....	57
Tabel 4. 6 Daya gelombang laut pantai Tamban tahun 2016.....	58
Tabel 4. 7 Daya gelombang laut pantai Payangan tahun 2016.....	58
Tabel 4. 8 Daya gelombang laut pantai Watukarung tahun 2016.....	59
Tabel 4. 9 Kecepatan udara pada OWC (Pantai Bandealit).....	61
Tabel 4. 10 Kecepatan udara pada OWC (Pantai Tamban).....	62
Tabel 4. 11 Kecepatan udara pada OWC (Pantai Payangan).....	62
Tabel 4. 12 Kecepatan udara pada OWC (Pantai Watukarung) .....	63
Tabel 4. 13 Kecepatan dan Kapasitas Udara Pada Orifice (Bandealit).....	65
Tabel 4. 14 Kecepatan dan Kapasitas Udara Pada Orifice (Tamban).....	65
Tabel 4. 15 Kecepatan dan Kapasitas Udara Pada Orifice (Payangan) .....	66

Tabel 4. 16 Kecepatan dan Kapasitas Udara Pada Orifice (Watukarung) .....	66
Tabel 4. 17 Potensial kecepatan udara di <i>orifice</i> (Bandealit).....	68
Tabel 4. 18 Potensial kecepatan udara di <i>orifice</i> (Tamban).....	68
Tabel 4. 19 Potensial kecepatan udara di <i>orifice</i> (Payangan) .....	69
Tabel 4. 20 Potensial kecepatan udara di <i>orifice</i> (Watukarung) .....	69
Tabel 4. 21 Tekanan Udara Pada <i>Orifice</i> (Bandealit)...	71
Tabel 4. 22 Tekanan Udara Pada <i>Orifice</i> (Tamban) .....	71
Tabel 4. 23 Tekanan Udara Pada <i>Orifice</i> (Payangan)...	72
Tabel 4. 24 Tekanan Udara Pada <i>Orifice</i> (Watukarung) .....	72
Tabel 4. 25 Nilai torsi dan laju aliran massa (model turbin 1).....	74
Tabel 4. 26 Nilai torsi dan laju aliran massa (model turbin 2).....	74
Tabel 4. 27 Annual energy Pantai Bandealit tahun 2016 (model turbin 1) .....	77
Tabel 4. 28 Annual energy Pantai Tamban tahun 2016 (model turbin 1) .....	78
Tabel 4. 29 Annual energy Pantai Payangan tahun 2016 (model turbin 1) .....	80
Tabel 4. 30 Annual energy Pantai Watukarung tahun 2016 (model turbin 1) .....	81
Tabel 4. 31 Annual energy Pantai Bandealit tahun 2016 (model turbin 2) .....	82
Tabel 4. 32 Annual energy Pantai Tamban tahun 2016 (model turbin 2) .....	84

Tabel 4. 33 Annual energy Pantai Payangan tahun 2016 (model turbin 2) .....	85
Tabel 4. 34 Annual energy Pantai Watukarung tahun 2016 (model turbin 2) .....	86
Tabel 4. 35 Perbandingan total energi tahunan antar lokasi .....	88

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 PLTGL yang diterapkan di offshore .....	8
Gambar 2. 2 Skema oscillating water column .....	9
Gambar 2. 3 Wells turbine .....	12
Gambar 2. 4 Sistem buka tutup katup Masuda .....	13
Gambar 2. 5 Turbin Mc Cormick .....	15
Gambar 2. 6 Prinsip kerja generator .....	17
Gambar 2. 7 Contoh peta batimetri .....	24
Gambar 2. 8 Refraksi gelombang laut .....	26
Gambar 2. 9 Refraksi gelombang di belakang rintangan .....	28
Gambar 2. 10 Refleksi gelombang laut.....	29
Gambar 2. 11 Elemen pokok sistem tenaga.....	30
Gambar 2. 12 Ilustrasi bibir pantai sebelum dilakukan pengerukan.....	31
Gambar 2. 13 <i>Wave collector</i> .....	31
Gambar 2. 14 <i>Axial sectional through</i> .....	32
Gambar 2. 15 Daerah bibir pantai sebelum dilakukan pengerukan.....	32
Gambar 2. 16 Proses pengerukan.....	33
Gambar 2. 17 Proses pengecoran.....	34
Gambar 2. 18 Pemasangan pipa saluran <i>ducting</i> .....	35
Gambar 2. 19 Bukaian pada dinding diafragma .....	35
Gambar 2. 20 Pengecoran dinding "atap" <i>wave collector</i> .....	36
Gambar 2. 21 Tahap akhir pengecoran .....	36
Gambar 2. 22 Proses pengecoran selesai .....	37
Gambar 2. 23 Batuan sisa pengerukan menghambat terjangan gelombang laut.....	37
Gambar 2. 24 Pengerukan batuan sisa .....	38

Gambar 2. 25 Pemasangan <i>orifice</i> .....	38
Gambar 2. 26 Gelombang dan kelengkapannya .....	40
Gambar 2. 27 Skema cara kerja OWC.....	41
.....	
Gambar 3. 1 Flow chart pengerjaan.....	47
Gambar 4. 1 Lokasi pantai Bandalit (Sumber: <a href="https://www.google.com/maps/place/Pantai+Bandalit/">https://www.google.com/maps/place/Pantai+Bandalit/</a> ) .....	51
Gambar 4. 2 Lokasi pantai Tamban.....	52
Gambar 4. 3 Lokasi pantai Payangan .....	52
Gambar 4. 4 Lokasi pantai Watukarung .....	53
Gambar 4. 5 Penampang melintang kolom.....	56
Gambar 4. 6 Tampak samping <i>wave collector</i> .....	56





# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia sebagai negara kepulauan dengan luas perairan hampir 60% dari luas wilayahnya, tentu memiliki garis pantai yang sangat panjang. Badan Informasi Geospasial (BIG) menyebutkan, total panjang garis pantai Indonesia adalah 99.093 kilometer, hampir 100 kali panjang Pulau Jawa. Dengan garis pantai yang panjang tersebut, potensi energi ombak sangat besar. Energi yang dihasilkan ombak ini, jika dimanfaatkan tentu bisa menjadi sumber energi yang sangat besar.

Asosiasi Energi Laut Indonesia (ASELI) pada tahun 2011 telah mendata potensi energi listrik yang bisa dihasilkan ombak. Arus pasang surut memiliki potensi teoretis sebesar 160 Gigawatt (GW), potensi teknis 22,5 GW, dan potensi praktis 4,8 GW . Berdasarkan survei yang dilakukan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) dan Pemerintah Norwegia sejak tahun 1987, didapat jika banyak daerah-daerah pantai Indonesia yang berpotensi sebagai pembangkit listrik bertenaga ombak. Lokasinya tersebar di sepanjang Pantai Selatan Pulau Jawa, di atas Kepala Burung Irian Jaya, dan sebelah barat Pulau Sumatera yang sangat sesuai untuk menyuplai energi listrik.

Gelombang laut secara ideal dapat dipandang berbentuk gelombang yang memiliki ketinggian puncak maksimum dan lembah minimum. Pada selang waktu tertentu, ketinggian puncak yang dicapai serangkaian gelombang laut berbeda-beda.

Ketinggian puncak ini berbeda-beda untuk lokasi yang sama jika diukur pada hari yang berbeda. Meskipun demikian, secara statistik dapat ditentukan ketinggian signifikan gelombang laut pada satu titik lokasi tertentu.

Ketinggian dan periode gelombang tergantung kepada panjang *fetch* pembangkitannya. *Fetch* adalah jarak perjalanan tempuh gelombang dari awal pembangkitannya, *fetch* dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Semakin panjang jarak *fetch*-nya, ketinggian gelombangnya akan semakin besar. Angin juga mempunyai pengaruh yang penting pada ketinggian gelombang. Angin yang lebih kuat akan menghasilkan gelombang yang lebih besar.

Gelombang yang menjalar dari laut dalam (*deep water*) menuju ke pantai akan mengalami perubahan bentuk disebabkan adanya perubahan kedalaman laut. Apabila gelombang bergerak mendekati pantai, pergerakan gelombang di bagian bawah yang berbatasan dengan dasar laut akan melambat. Ini adalah akibat dari gesekan antara air dan dasar pantai. Sementara itu, bagian atas gelombang di permukaan air akan terus melaju. Semakin menuju ke pantai, puncak gelombang akan semakin tajam dan lembahnya akan semakin datar. Fenomena ini yang menyebabkan gelombang tersebut kemudian pecah.

Bila waktu yang diperlukan untuk terjadi sebuah gelombang laut dihitung dari data jumlah gelombang laut yang teramati pada sebuah selang tertentu, dapat diketahui potensi energi gelombang laut di titik lokasi tersebut. Potensi energi gelombang laut

pada satu titik pengamatan dalam satuan kWh per meter berbanding lurus dengan setengah dari kuadrat ketinggian signifikan dikali waktu yang diperlukan untuk terjadi sebuah gelombang laut.

Berdasarkan perhitungan ini dapat diprediksikan berbagai potensi energi dari gelombang laut di berbagai tempat di dunia. Dari data tersebut, diketahui bahwa pantai barat Pulau Sumatera bagian selatan dan pantai selatan Pulau Jawa bagian barat berpotensi memiliki energi gelombang laut sekitar 40 kw/m.

Pada dasarnya prinsip kerja teknologi yang mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi listrik adalah mengakumulasi energi gelombang laut untuk memutar turbin generator. Karena itu, sangat penting memilih lokasi yang secara topografi memungkinkan akumulasi energi. Meskipun penelitian untuk mendapatkan teknologi yang optimal dalam mengonversi energi gelombang laut masih terus dilakukan.

Dasar undang-undang tentang energi telah tertuang dalam UU No. 30/2007 tentang Energi maupun UU No. 17/2007 tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN). Berbagai model pembangkit listrik pun diujicobakan di Indonesia. Salah satunya, pemerintah bekerja sama dengan BPPT khususnya BPDP (Balai Pengkajian Dinamika Pantai) di daerah selatan Yogyakarta. Uji coba Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut ini menggunakan metode OWC (*Oscillating Water Column*).

Tugas akhir ini merupakan kelanjutan dari tugas akhir yang sebelumnya dibuat oleh Iqbal Firdaus (2010) dan Yuno Priandoko (2010). Pada tugas akhir milik Iqbal Firdaus dan Yuno Priandoko telah dibahas perancangan PLTGL tipe *OWC fixed* dengan jenis turbin Mc Cormick dan turbin Masuda, sedangkan pada tugas akhir ini akan dibuat analisa penerapan tiap jenis turbin tersebut pada PLTGL di daerah pantai selatan Jawa Timur. Pantai yang akan dijadikan contoh yaitu Pantai Bandealit (Jember), Pantai Tamban (Malang), Pantai Payangan (Jember), dan Pantai Watu Karung (Pacitan).

## **1.2 Perumusan Masalah**

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian, yaitu :

1. Menentukan kecepatan udara pada *orifice* yang dapat dimanfaatkan PLTGL tipe *OWC fixed* secara optimal
2. Menghitung nilai energy tahunan PLTGL tipe *OWC fixed* dengan tiap jenis turbin yang diterapkan
3. Menentukan lokasi penerapan yang tepat untuk setiap jenis turbin yang diterapkan pada PLTGL tipe *OWC fixed*.

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dibuat agar lingkup penelitian ini lebih fokus, yaitu :

1. Dalam tugas akhir ini hanya akan digunakan satu tipe PLTGL yaitu *OWC fixed*

2. Dalam tugas akhir ini hanya akan digunakan dua jenis turbin yaitu turbin Mc Cormick dan turbin Masuda
3. Variasi dari jenis turbin yang digunakan yaitu turbin Mc Cormick dan turbin Masuda
4. Hasil akhir ditujukan terutama untuk mengetahui jenis turbin yang tepat digunakan pada PLTGL di daerah yang telah ditentukan namun hanya sebagai penelitian semata.

#### **1.4 Tujuan Skripsi**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kecepatan udara pada *orifice* yang dapat dimanfaatkan PLTGL tipe *OWC fixed* secara optimal
2. Mengetahui nilai total energi tahunan yang dihasilkan pada tiap jenis turbin yang digunakan
3. Mengetahui lokasi pembangunan PLTGL yang tepat untuk setiap jenis turbin yang digunakan, berdasarkan total energi tahunan yang dihasilkan.

### **1.5 Manfaat**

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pembangkit listrik tenaga gelombang laut dapat menjadi salah satu sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil
2. Pemilihan jenis turbin yang tepat pada setiap PLTGL
3. Pembangkit listrik tenaga gelombang laut dapat menjadi salah satu sumber energi alternatif yang ramah lingkungan.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Tugas akhir ini secara garis besar terbagi dalam 5 bagian, antara lain :

**BAB I: PENDAHULUAN.** Pada bab ini membahas latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah dan tujuan.

**BAB II: TINJAUAN PUSTAKA.** Bab ini membahas mengenai teori dan komponen yang berhubungan.

**BAB III: METODOLOGI.** Bab ini membahas metodologi yang digunakan dalam mengerjakan skripsi.

**BAB IV: ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.** Pada bab ini membahas pengolahan data, analisa data, perbandingan numerik dengan eksperimen serta menyelesaikan permasalahan yang diangkat sebagai topik dalam skripsi.

**BAB V: PENUTUP.** Yang terdiri dari kesimpulan dan saran-saran.

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Pembangkit Listrik**

Pembangkit listrik adalah sebuah alat yang digunakan untuk memproduksi dan membangkitkan tenaga listrik dari berbagai sumber tenaga. Gelombang laut merupakan salah satu sumber energi yang dapat dikonversi menjadi energi listrik.

Secara umum, sistem kerja pembangkit listrik tenaga gelombang laut sangat sederhana. Sebuah tabung beton dipasang pada ketinggian tertentu di pantai dan ujungnya dipasang di bawah permukaan air laut. Ketika ada ombak yang datang ke pantai, air dalam tabung beton tersebut mendorong udara di bagian tabung yang terletak di darat. Gerakan yang sebaliknya terjadi saat ombak surut. Gerakan udara yang berbolak-balik inilah yang dimanfaatkan untuk memutar turbin yang dihubungkan dengan sebuah pembangkit listrik. Terdapat alat khusus yang dipasang pada turbin sehingga turbin berputar hanya pada satu arah walaupun arus udara.

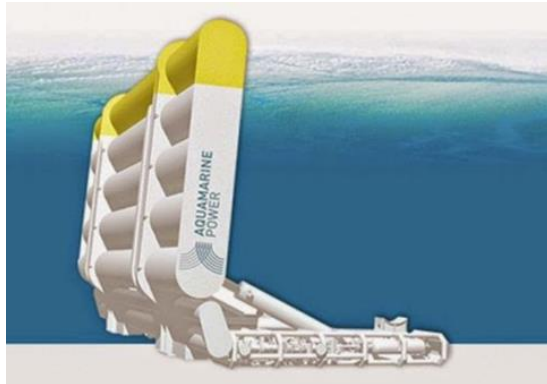
Ada 2 cara untuk mengkonversi energi gelombang laut menjadi listrik, yaitu dengan sistem *off-shore* (lepas pantai) atau *on-shore* (pantai):

##### **1. Sistem Offshore**

Dirancang pada kedalaman 40 meter dengan mekanisme kumparan yang memanfaatkan pergerakan gelombang untuk memompa energi. Listrik dihasilkan dari gerakan relatif antara pembungkus luar (*external hull*) dan bandul dalam (*internal pendulum*). Naik-

turunnya pipa pengapung di permukaan yang mengikuti gerakan gelombang berpengaruh pada pipa penghubung yang selanjutnya menggerakkan rotasi turbin bawah laut.

Cara lain untuk menangkap energi gelombang laut dengan sistem *off-shore* adalah dengan membangun sistem tabung dan memanfaatkan gerak gelombang yang masuk ke dalam ruang bawah pelampung sehingga timbul perpindahan udara ke bagian atas pelampung. Gerakan perpindahan udara inilah yang menggerakkan turbin.



**Gambar 2. 1 PLTGL yang diterapkan di offshore**

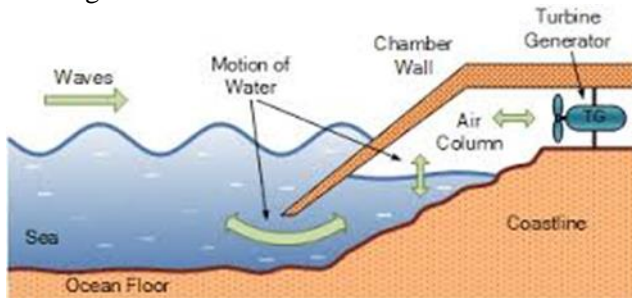
(Sumber: <http://sciencebuddies.org>)

## **2. Sistem Onshore**

Sedangkan pada sistem *on-shore*, ada 3 metode yang dapat digunakan, yaitu *channel system*, *float system*, dan *oscillating water column system*. Secara umum, pada prinsipnya, energi mekanik yang tercipta dari sistem-sistem ini mengaktifkan generator



secara langsung dengan mentransfer gelombang fluida (air atau udara penggerak) yang kemudian mengaktifkan turbin generator.



**Gambar 2. 2 Skema oscillating water column**  
(Sumber: <http://brighthubengineering.com>)

### **2.1.1 Aspek Pemilihan Pembangkit Listrik**

Dalam menentukan sistem yang lebih layak digunakan, maka harus dipertimbangkan beberapa aspek yang mempengaruhi. Antara lain

#### **a) Lokasi**

Lokasi sangat menentukan pemilihan sebuah sistem pembangkit listrik yang digunakan, apabila lokasi memiliki gelombang laut yang sangat tinggi maka sistem pembangkit yang perlu digunakan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut. Perlu ditinjau lagi dari daya yang dihasilkan dipergunakan untuk apa.

b) Investasi

Investasi hal yang sangat sensitif, karena memang tujuan utama dibangunnya pembangkit listrik alternatif adalah untuk menghemat biaya produksi energi listrik untuk kegiatan sehari – hari. Dengan mempertimbangkan keadaan ini, maka haruslah dipilih pembangkit listrik yang memiliki biaya yang paling rendah.

c) Lingkungan

Lingkungan yang berada di sekitar pembangkit listrik harus diperhatikan agar tidak terjadi hal-hal yang dapat merugikan baik manusia maupun makhluk lainnya.

d) Teknis

Peralatan yang digunakan dalam sistem pembangkit tenaga listrik tentu saja membutuhkan perawatan yang sesuai dengan jadwal yang telah dibuat oleh para planner. Faktor ini bisa meliputi kemampuan dari para pekerja untuk melakukan perawatan, suku cadang untuk peralatan dalam pembangkit listrik serta peralatan yang dibutuhkan

### 2.1.2 Komponen Utama PLTGL

#### 1. Piston Hidrolik

Piston hidrolik adalah bagian yang berfungsi menjaga keseimbangan generator agar kedudukannya tidak terpengaruh oleh laju ombak yang bergerak.

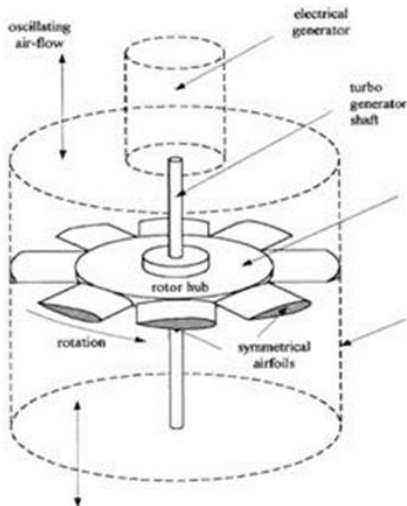
#### 2. Turbin

Pada Prinsipnya turbin bekerja sebagai "Penerima Energi", artinya dia menerima energi (kinetik) dari angin dan merubahnya menjadi energi lain yang dapat digunakan seperti listrik. Angin yang datang akan menumbuk sayap kipas (baling-baling) pada kincir angin, sehingga sayap kipas akan berputar. Kemudian sayap kipas akan memutar memutar generator.

Macam – macam turbin yang digunakan pada *Oscillating Water Column* antara lain:

##### a. Wells Turbin

Merupakan turbin yang sering digunakan , ditemukan oleh Dr. A.wells pada tahun 1976. Turbin ini banyak digunakan karena konstruksinya yang sederhana dan perawatanya cukup mudah. Turbin ini dapat berputar satu arah meskipun arah angin yang mengenai turbin berbeda arah. Effisiensi dari turbin ini berkisa antara 0,4 sampai 0,7. (Priandoko, 2015).



**Gambar 2. 3 Wells turbine**

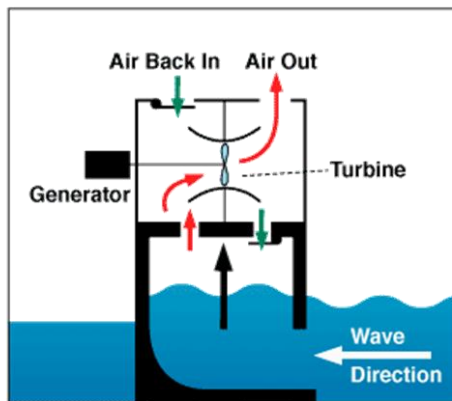
(Sumber: Studi Perancangan PLTGL Tipe OWC Fixed dengan Katup Masuda di Pantai Bandalit, Jember. 2015)

#### b. Turbin Masuda

Menggunakan turbin jenis baling-baling dengan beberapa katub pembuka dan penutup. Turbin udara yang dapat berputar satu arah dengan alat pengarah aliran udara. Masuda menemukan cara untuk mengkonversi energi tekanan udara yang bolak-balik dengan turbin propeler dan katub buka–tutup.

Bila tekanan udara keatas atau ketika gelombang naik katub kiri bawah akan membuka dan tekanan udara akan memutar turbin dari kira selanjutnya katub kanan atas terbuka dan akan mengeluarkan tekanan udara. Demikian sebaliknya ketika

gelombang turun udara akan terhisap melalui katub atas kiri yang terbuka dan aliran udara akan memutar turbin dari arah sebelah kiri sehingga turbin akan berputar tetap pada arah yang pertama, selanjutnya katub kanan bawah terbuka untuk menghisap tekanan kebawah. Efisiensi untuk turbin ini berkisar 0,8 sampai 0,85. (Priandoko, 2015).



**Gambar 2. 4 Sistem buka tutup katup Masuda**

(Sumber: Studi Perancangan PLTGL Tipe OWC Fixed dengan Katup Masuda di Pantai Bandelait, Jember. 2015)

#### c. Turbin Mc.Cormick

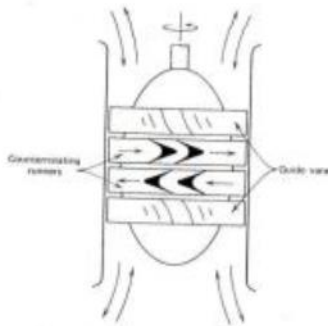
Penemu yang lain adalah Mc Cormick yang menggunakan teknik yang disebut *self-rectifying property*. Seperti terlihat pada gambar 2.1.5. Tekanan udara dialirkan melewati pengarah kekiri sehingga akan memutar sudu turbin bawah yang berlaku sebagai daya rotor utama. Rotor ini

selanjutnya akan berfungsi sebagai stator yang bergerak untuk daya rotor kedua yang bergerak berlawanan dengan rotor pertama. Demikian juga sebaliknya kalau tekanan udara berbalik arah (Rahmatulloh, 2013). Efisiensi turbin ini berkisar 0.85-0.9.

Dibandingkan dengan jenis turbin aksial, Mc Cormick adalah jenis turbin impuls radial yang memiliki beberapa keunggulan, antara lain yaitu kemudahan dalam proses manufaktur, karena rotor pada turbin terbuat dari profil tekan dan baling-baling lempengan, lebih mudah dibentuk daripada bentuk blade Masuda. Namun, turbin jenis ini memiliki kekurangan dalam pengontrolan noise dan rendahnya efisiensi, sejauh ini studi yang dijalankan hanya sebatas eksperimen, yang belum menyediakan data laju aliran di dalam turbin.

Laju aliran fluida di dalam turbin bergantung pada beberapa faktor, salah satunya yaitu kebocoran aliran ujung (*tip flow leakage*), interaksi yang signifikan ditunjukkan dalam "*Tip Clearance Effect on the Flow Pattern of a Radial Impulse Turbine for Wave Energy Conversion*" (University of Valladolid, Valladolid, Spain), bahwa mengurangi *tip clearance* sebesar 1%, tidak akan terjadi peningkatan efisiensi, namun fokus pembahasan tidak pada hal ini, melainkan pada pengaruh *tip clearance* pada pola laju aliran, bahwa terdapat tiga pola laju aliran yaitu pada *rotor inlet*, dimana sebagian besar aliran fluida dipengaruhi oleh gerakan bergesek antara *casing* dan *blade tip*.

Pengaruh ini melemahkan pola laju aliran daerah ke-2, yaitu pada area *midchord*. Daerah ke-3 yaitu pada bagian dalam turbin itu sendiri, laju aliran pada daerah ini sebagian besar dipengaruhi besar selisih tekanan pada sisi *suction* dan *pressure*.



**Gambar 2. 5 Turbin Mc Cormick**

(Sumber: Studi Perancangan PLTGL Tipe OWC Fixed dengan Katup Masuda di Pantai Bandalit, Jember. 2015)

#### 1. Generator

Generator berfungsi untuk merubah energi mekanik yang berasal dari turbin menjadi energi listrik. Generator inilah yang disebut konverter energi. Jenis generator yang digunakan pada PLTGL ialah jenis Generator Asinkron (generator tak-serempak) yang merupakan motor induksi yang dirubah menjadi generator, generator ini dipilih karena PLTGL sebagai energi alternatif tidak banyak membutuhkan perawatan seperti halnya generator sinkron, lebih kuat, handal, harga lebih murah dan tidak membutuhkan

bahan bakar pada saat diaplikasikan di lapangan, tapi cukup bergantung pada sumber energi terbarukan seperti air, angin, dan lain – lain sebagai *prime mover* (penggerak mula). Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan ini disalurkan melalui kabel jaringan listrik untuk akhirnya digunakan oleh masyarakat. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC (*Alternating Current*).

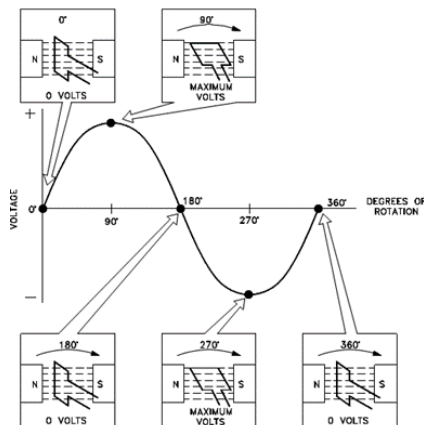
a. Prinsip Kerja Generator

Generator bekerja berdasarkan hukum faraday yakni apabila suatu penghantar diputar dalam sebuah medan magnet sehingga memotong garis gaya magnet maka pada ujung penghantar tersebut akan timbulkan ggl (garis gaya listrik) yang mempunyai satuan volt.

Pada Gambar 2.6 sebuah kumparan berputar melewati medan magnet. Pada posisi  $0^\circ$  kumparan tidak memotong flux, pada posisi ini tidak terjadi induksi. Kumparan berputar pada posisi  $90^\circ$ , pada posisi ini kumparan memotong flux dan terjadi tegangan induksi maksimum pada arah positif. Kumparan berputar kembali pada posisi  $180^\circ$ , pada posisi ini kumparan tidak memotong flux dan tidak terjadi induksi. Kumparan berputar pada posisi  $270^\circ$ . Kumparan kembali memotong flux sehingga terjadi tegangan induksi namun pada arah negatif. Kumparan kembali berputar dengan kecepatan yang konstan menuju pada posisi  $360^\circ$  sehingga kumparan tidak memotong



flux maka tidak terjadi induksi. Hukum Faraday, “jika terjadi perubahan garis gaya magnet pada sebuah kumparan kawat, maka akan timbul gaya gerak listrik (ggl) pada kawat tersebut. Jika kumparan kawat dihubungkan dengan rangkaian listrik tertutup, maka akan timbul pula arus listrik yang mengalir pada rangkaian”.



**Gambar 2. 6 Prinsip kerja generator**

(Sumber: US Department of Energy, DOE  
Fundamentals Handbook Electrical Science  
Volume 3, 1992)

Frekuensi yang biasa dipergunakan adalah 50 Hz dan 60 H. Untuk menghasilkan frekuensi tegangan arus bolak balik yang konstan harus diperoleh putaran poros rotor dari prime mover yang konstan pula, karena itu generator disebut mesin sinkron. Keadaan sinkron ini sangat dipengaruhi oleh beban

yang ditanggung dan akan terpengaruh oleh suatu beban kejut. (Albiyanto, 1992.)

## **2.2     *Oscillating Water Column***

*Oscillating Water Column* merupakan salah satu sistem dan peralatan yang dapat mengubah energi gelombang laut menjadi energi listrik dengan menggunakan kolom osilasi. Alat OWC ini akan menangkap energi gelombang yang mengenai lubang pintu OWC, sehingga terjadi fluktuasi atau osilasi gerakan air dalam ruang OWC, kemudian tekanan udara ini akan menggerakkan baling-baling turbin yang dihubungkan dengan generator listrik sehingga menghasilkan listrik.

Pada teknologi OWC ini, digunakan tekanan udara dari ruangan kedap air untuk menggerakkan whells turbine yang nantinya pergerakan turbin ini digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Ruangan kedap air ini dipasang tetap dengan struktur bawah terbuka ke laut. Tekanan udara pada ruangan kedap air ini disebabkan oleh pergerakan naik-turun dari permukaan gelombang air. Gerakan gelombang di dalam ruangan ini merupakan gerakan compresses dan gerakan decompresses yang ada di atas tingkat air di dalam ruangan. Gerakan ini mengakibatkan, dihasilkannya sebuah alternating streaming kecepatan tinggi dari udara. Aliran udara ini didorong melalui pipa ke turbin generator yang digunakan untuk menghasilkan listrik. Sistem OWC ini dapat ditempatkan permanen di pinggir pantai atau bisa juga ditempatkan di tengah laut. Pada sistem yang

ditempatkan di tengah laut, tenaga listrik yang dihasilkan dialirkan menuju transmisi yang ada di daratan menggunakan kabel.

### **2.3 Proses Terjadinya Gelombang Laut**

Gelombang laut adalah bentuk permukaan laut yang berupa punggung atau puncak gelombang dan palung atau lembah gelombang oleh gerak ayun (*oscillatory movement*) akibat tiupan angin, erupsi gunung api, pelongsoran dasar laut, atau lalu lintas kapal (Sunarto, 2003). Gelombang laut memiliki dimensi yaitu periode gelombang, panjang gelombang, tinggi gelombang, dan cepat rambat gelombang.

Periode gelombang (T) adalah waktu tempuh di antara dua puncak atau dua lembah gelombang secara berurutan pada titik yang tetap (satuan detik). Panjang gelombang (L) adalah jarak horizontal antara dua puncak atau dua lembah yang berurutan (satuan meter). Tinggi gelombang (H) adalah jarak vertikal antara puncak gelombang dan lembah gelombang (satuan meter). Cepat rambat gelombang (C) adalah kecepatan tempuh perjalanan suatu gelombang, yang dapat diperoleh dengan pembagian panjang gelombang (L) dengan periode gelombang (T) atau  $C=L/T$ .

Holthuijsen (2007) menjelaskan bahwa gelombang laut adalah pergerakan naik dan turunnya air laut dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal. (Nichols et al., 2009 dalam Bagus, 2014) menjelaskan bahwa gelombang laut timbul karena adanya gaya

pembangkit yang bekerja pada laut. Gelombang yang terjadi di lautan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam berdasarkan gaya pembangkitnya, gaya pembangkit tersebut terutama berasal dari angin, dari gaya tarik menarik Bumi - Bulan - Matahari atau yang disebut dengan gelombang pasang surut dan gempa bumi.

Gelombang laut adalah perubahan energi yang sederhana, energi ini telah dimiliki dari permulaan. Sumber energi gelombang laut karena beberapa fenomena di bawah ini :

- 1) Pergerakan dari permukaan air laut dikarenakan gelombang dengan periode rendah dari energi yang rendah.
- 2) Angin berhembus di laut yang menghasilkan riak dan ombak yang teratur
- 3) Tsunami yang disebabkan gangguan pada aktivitas pergerakan lempengan bumi
- 4) Gravitasi matahari dan bulan yang mengakibatkan terjadinya ombak.

Ada dua tipe gelombang, bila dipandang dari sisi sifat-sifatnya yaitu gelombang pembangun/pembentuk pantai (*constructive wave*) dan gelombang yang tidak membentuk pantai (*deconstructive wave*). Yang termasuk gelombang pembentuk pantai, bercirikan mempunyai ketinggian kecil dan cepat rambatnya rendah. Saat gelombang pecah di pantai, material yang terangkut akan

tertinggal di pantai (deposit) yaitu ketika aliran balik dari gelombang pecah meresap ke dalam pasir atau pelan-pelan sedimen akan mengalir kembali ke laut. Gelombang yang sifatnya tidak membentuk pantai biasanya mempunyai ketinggian dan kecepatan rambat yang besar (sangat tinggi). Air yang kembali berputar mempunyai lebih sedikit waktu untuk meresap ke dalam pasir. Ketika gelombang datang kembali menghantam pantai akan ada banyak volume air yang terkumpul dan mengangkut material pantai menuju ke tengah laut atau ke tempat lain.

### **2.3.1 Faktor yang Mempengaruhi Gelombang Laut**

#### **a. Angin**

Angin adalah salah satu faktor yang mempengaruhi terjadinya gelombang laut, angin mempengaruhi variasi pada tinggi dan periode terjadinya gelombang laut. Gelombang laut teratur (*swell*) tergantung pada :

- a. Kecepatan angin
- b. Durasi angin
- c. Panjang daerah persentuhan angin dengan permukaan air laut (panjang *fetch*).

Ketiga faktor di atas sangat menentukan tinggi dan periode dari gelombang laut teratur (Ardianto, 1996). Jika angin berhembus dengan kecepatan konstan, maka ketinggian ombak akan meningkat,

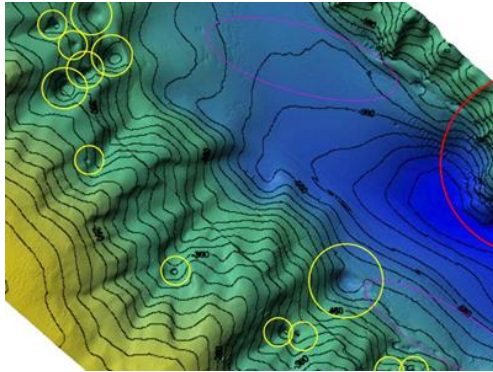
begitu juga dengan periode gelombang laut. Kemudian perjalanan gelombang laut teratur dari jarak ratusan meter, karena daerah bangkitan gelombang laut jauh dari pantai. Dalam perjalanannya, ketinggian gelombang laut akan berkurang namun periode gelombang laut meningkat (Ardianto, 1996).

### **b. Batimetri**

Batimetri (berasal dari bahasa Yunani: βάθος yang berarti “kedalaman”, dan μέτρον yang berarti “ukuran”) adalah ilmu yang mempelajari kedalaman di bawah air dan studi tentang tiga dimensi lantai samudra atau danau . Batimetri juga didefinisikan sebagai gambaran relief dasar laut, perbedaan kenampakan atau ciri-ciri dasar laut dan mempunyai arti penting dalam penelitian karena dengan mengetahui roman muka bumi akan memudahkan mengetahui kondisi morfologi suatu daerah (Nontji,1987). Batimetri terdiri dari dua suku kata yaitu ‘*Bathy*’ yang berarti kedalaman serta kata ‘*Metry*’ yang berarti ilmu pengukuran. Oleh karena itu secara harfiah, kata batimetri dapat diartikan sebagai ukuran kedalaman laut, baik mengenai ukuran tentang elevasi maupun mengenai depresi dasar laut yang merupakan sumber informasi dan gambaran dari dasar laut,serta memberikan banyak petunjuk tentang struktur laut (Nurjaya, 1991). Batimetri (bathos: kedalaman, metry:

pengukuran) adalah pengukuran kedalaman laut dan memetakannya berdasarkan kondisi dan topografi dasar laut (Thurman, 2004).

Peta batimetri sendiri dapat diartikan sebagai peta yang menggambarkan bentuk konfigurasi dasar laut dinyatakan dengan angka-angka kedalaman serta garis-garis kedalaman. Peta batimetri ini juga dapat divisualisasikan dalam bentuk tampilan 2 dimensi (2D) maupun 3 dimensi (3D). Visualisasi tersebut dapat dilakukan karena perkembangan teknologi yang semakin hari sangat semakin maju, sehingga penggunaan komputer untuk melakukan kalkulasi dalam pemetaan menjadi mudah untuk dilakukan. Data batimetri dapat diperoleh dengan menggunakan teknik interpolasi, untuk pendugaan data kedalaman untuk daerah-daerah yang tidak terdeteksi, dan merupakan hal mutlak yang harus diperhatikan. Teknik interpolasi yang sering digunakan adalah teori *Universal Kriging* dan teori *IRFK (Intrinsic Random Function of Order K)* (David *et al.*, 1985 dalam Defilmsa, 2003).



**Gambar 2. 7 Contoh peta batimetri**

(Sumber:

[http://www.nefsc.noaa.gov/press\\_release/2010/SciSpot/SS1003/bathymetry\\_map3.jpg](http://www.nefsc.noaa.gov/press_release/2010/SciSpot/SS1003/bathymetry_map3.jpg))

### **c. Refraksi**

Refraksi adalah peristiwa pembelokan arah perambatan suatu gelombang, baik fisik maupun elektromagnetik. Hal ini dapat terjadi jika gelombang tersebut melewati bidang batas dua medium yang memiliki indeks bias yang berbeda. Indeks bias menyatakan kerapatan suatu medium. Misalnya cahaya merambat dari udara ke air sehingga arah perambatannya akan mengalami pembelokan.

Refraksi pada gelombang laut terjadi karena adanya perbedaan kedalaman laut. Pada daerah laut dalam, refraksi tidak berpengaruh pada jalannya gelombang laut, sedangkan pada daerah laut dangkal dan



transisi, gelombang laut dipengaruhi oleh dasar laut.

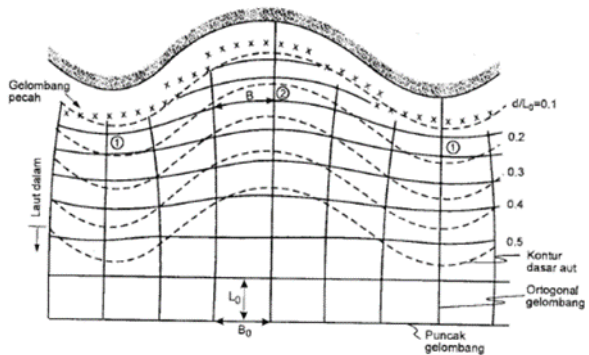
Pada daerah laut dangkal dan transisi, jika meninjau pada garis puncak gelombang, bagian dari puncak gelombang yang berada di air yang lebih dangkal akan menjalar dengan kecepatan yang lebih rendah daripada bagian air yang lebih dalam, fenomena tersebut akan membelokkan garis puncak gelombang dan berusaha akan sejajar dengan garis kontur dasar laut. Fenomena ini dapat dianalogikan seperti cahaya yang memasuki dua medium yang berbeda kerapatannya (Triatmodjo, Bambang, 1999).

Jika cepat rambat gelombang laut berkurang karena kedalaman laut, maka panjang gelombang juga berkurang secara linier. Pada puncak gelombang terjadi variasi cepat rambat gelombang yang membentuk sudut tertentu terhadap kontur dasar laut.

Refraksi dan pendangkalan gelombang (*wave shoaling*) akan dapat menentukan tinggi gelombang di suatu tempat berdasarkan karakteristik gelombang datang. Refraksi mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap tinggi dan arah gelombang serta distribusi energi gelombang di sepanjang pantai.

Refraksi menyebabkan perubahan arah gelombang dan akan menyebabkan konvergensi (penguncupan) atau divergensi

(penyebaran) energi gelombang dan berpengaruh pada energi gelombang yang sampai di pantai (Triatmojo, Bambang, 1999, “Teknik Pantai”, Beta Offset, Yogyakarta).



**Gambar 2. 8 Refraksi gelombang laut**

(Sumber: Triatmojo, Bambang, 1999, “Teknik Pantai”, Beta Offset, Yogyakarta)

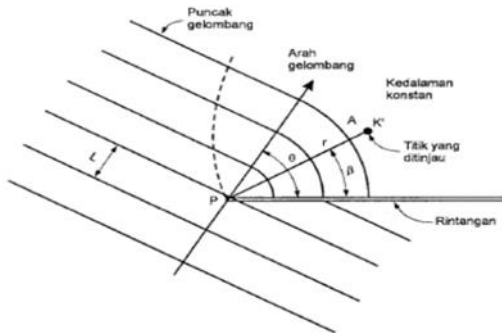
Pada gambar di atas terlihat bahwa garis puncak gelombang berubah mengikuti kontur dasar laut dan garis pantai. Garis orthogonal gelombang menyebar dalam arah menuju tegak lurus garis kontur. Pada lokasi 1, garis orthogonal gelombang menguncup sedangkan di lokasi 2 garis orthogonal gelombang menyebar. Energi di antara dua garis orthogonal adalah konstan.

Pada lokasi 1 energi yang terkandung lebih besar daripada lokasi 2, karena jarak antar garis orthogonal pada lokasi 1 lebih

pendek dibandingkan lokasi 2 (Triatmodjo, Bambang, 1999)

#### **d. Difraksi**

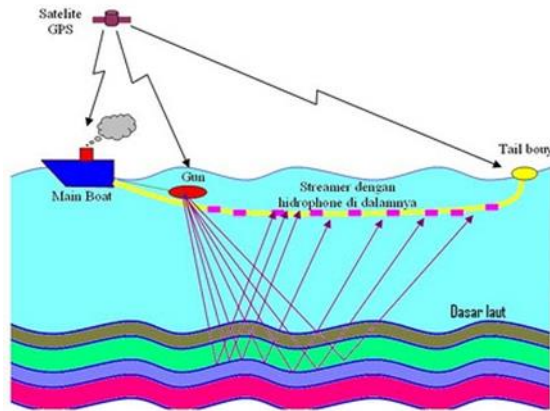
Jika gelombang yang datang terhalang oleh suatu rintangan, maka gelombang akan membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk di daerah terlindung di belakang. Fenomena ini disebut difraksi gelombang. Seperti yang terlihat pada gambar 2.9 . Pada difraksi terjadi transfer energi dalam arah tegak lurus penjalaran gelombang menuju daerah yang terlindung, jika tidak terjadi difraksi gelombang di belakang rintangan akan tenang. Namun karena adanya difraksi maka daerah tersebut terpengaruh oleh gelombang yang datang. Transfer energi ke daerah terlindung menyebabkan terbentuknya gelombang di daerah tersebut (Triatmojo, Bambang, 1999).



**Gambar 2. 9 Refraksi gelombang di belakang rintangan**  
(Sumber: Triatmojo, Bambang, 1999,  
“Teknik Pantai”, Beta Offset, Yogyakarta)

#### **e. Refleksi**

Saat gelombang laut membentur rintangan vertikal seperti dinding pantai, energi ombak tersebut akan diserap sebagian oleh dinding pantai jika dinding tersebut keropos. Namun keadaan sebenarnya adalah, energi tidak diserap melainkan dipantulkan, maka refleksi adalah pemantulan energi gelombang akibat membentur rintangan. Seperti pada gambar 2.10.



**Gambar 2. 10 Refleksi gelombang laut**  
 (Sumber: Triatmojo, Bambang, 1999,  
 “Teknik Pantai”, Beta Offset, Yogyakarta)

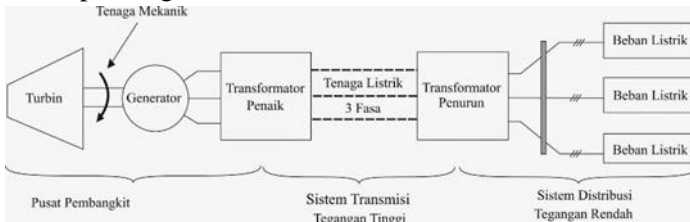
## 2.4 Sistem Tenaga

Cara yang paling ekonomis, mudah dan aman untuk mengirim energi adalah melalui bentuk energi listrik. Pada pusat pembangkit, sumber daya energi primer seperti bahan bakar, fosil, hidro, panas bumi, dan nuklir diubah menjadi energi listrik. Generator sinkron mengubah energi mekanis yang dihasilkan pada poros turbin menjadi energi tiga fasa. (Zuhal, 1988).

Melalui transformator penaik tegangan, energi listrik ini kemudian dikirim melalui saluran transmisi bertegangan tinggi menuju pusat-pusat beban. Peningkatan tegangan dimaksudkan untuk mengurangi jumlah arus yang mengalir pada saluran transmisi. Dengan demikian, saluran transmisi bertegangan tinggi akan membawa aliran arus yang

rendah dan berarti mengurangi rugi panas yang menyertainya. Ketika saluran transmisi mencapai pusat beban, tegangan tersebut kembali diturunkan menjadi tegangan menengah, melalui transformator penurun tegangan. (Zuhal, 1988).

Pada pusat-pusat beban yang terhubung dengan saluran distribusi, energi listrik ini diubah kembali menjadi bentuk-bentuk energy terpakai lainnya seperti energi mekanis, penerangan, pemanas, pendingin dll.

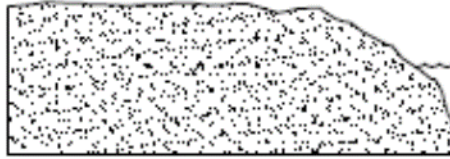


**Gambar 2. 11 Elemen pokok sistem tenaga**

(Sumber: Zuhal, 1988, “Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya”)

## 2.5 Pembangunan Oscillating Water Column

Tahap pertama pembangunan OWC ialah dengan melakukan pengerukan bibir pantai, karena pembangunan dilakukan tidak langsung pada ujung karang.

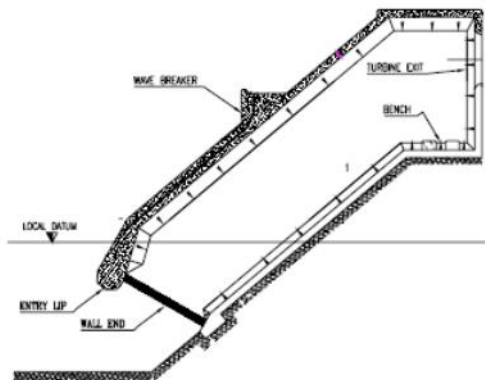


1. Virgin Site

**Gambar 2. 12 Ilustrasi bibir pantai sebelum dilakukan pengerukan**

(Sumber: Publishable Report of LIMPET Islay Power Plant)

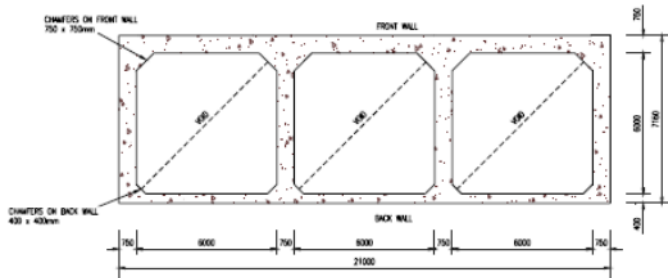
Pengerukan ini bertujuan untuk membangun *wave collector*, konstruksi dengan material beton dianggap cukup kuat untuk menahan terjangan gelombang laut.



**Gambar 2. 13 Wave collector**

(Sumber: Publishable Report of LIMPET Islay Power Plant)

Sudut kemiringan dari dinding *wave collector* dibuat menjadi  $40^\circ$  terhadap horizontal, pada posisi dekat *entry lip* di permukaan luar dibuat curam dengan sudut kemiringan  $60^\circ$ .



**Gambar 2. 14 Axial section through**

(Sumber: Publishable Report of LIMPET Islay Power Plant)



**Gambar 2. 15 Daerah bibir pantai sebelum dilakukan pengerukan**

(Sumber: Publishable Report of LIMPET Islay Power Plant)



Daerah bibir pantai sebelum dilakukan pengerukan membentuk alur dangkal yang menghasilkan gelombang laut yang terfokus. Permukaan dibersihkan dari batuan terjal agar peralatan yang digunakan untuk pengerukan dapat bekerja dengan lancar, selain itu agar area pengerukan lebih mudah dijangkau.



**Gambar 2. 16 Proses pengerukan**

(Sumber: Publishable Report of LIMPET Islay Power Plant)

Pengerukan dilakukan tidak langsung pada bagian bibir pantai, dikarenakan untuk menghindari terjangan gelombang yang dapat menghambat proses pengerukan tersebut.

Proses selanjutnya setelah pengerukan selesai adalah pemasangan konstruksi baja sebagai pondasi *wave collector* dan sebagai sekat tiap kolom,

konstruksi tersebut terdiri dari kawat dan pengecoran beton.



**Gambar 2. 17 Proses pengecoran**

(Sumber: Publishable Report of LIMPET Islay Power Plant)

Setelah kawat dipasang, kemudian dilakukan penutupan dinding bagian atas *wave collector* dengan balok beton, selain itu juga dipasang pipa yang berfungsi sebagai saluran udara untuk instrumentasi, kemudian setelah penutupan selesai dilakukan pengecoran kembali agar beton tersebut menyatu dan rongga-rongga yang terdapat di balok beton tertutup.



**Gambar 2. 18 Pemasangan pipa saluran *ducting***  
(Sumber: Publishable Report of LIMPET  
Islay Power Plant)



**Gambar 2. 19 Bukaan pada dinding diafragma**  
(Sumber: Publishable Report of LIMPET  
Islay Power Plant)



**Gambar 2. 20 Pengecoran dinding "atap" wave collector**  
(Sumber: Publishable Report of LIMPET  
Islay Power Plant)



**Gambar 2. 21 Tahap akhir pengecoran**  
(Sumber: Publishable Report of LIMPET  
Islay Power Plant)



**Gambar 2. 22 Proses pengecoran selesai**  
(Sumber: Publishable Report of LIMPET  
Islay Power Plant)



**Gambar 2. 23 Batuan sisa pengerukan menghambat  
terjangan gelombang laut**  
(Sumber: Publishable Report of LIMPET  
Islay Power Plant)



**Gambar 2. 24 Pengerukan batuan sisa**  
(Sumber: Publishable Report of LIMPET  
Islay Power Plant)



**Gambar 2. 25 Pemasangan *orifice***  
(Sumber: Publishable Report of LIMPET  
Islay Power Plant)

Setelah pengecoran selesai maka tahap selanjutnya adalah proses pemasangan *orifice*, seperti yang terlihat pada gambar 2.25. *Orifice* adalah lubang yang pada bagian dalamnya terdapat turbin dan generator. Udara bertekanan akan masuk dari kolom ke lubang ini karena terdorong oleh gelombang air laut, sehingga dapat menggerakkan turbin sekaligus generator. Kemudian saat gelombang laut turun, kekosongan udara di dalam kolom akan membuat udara dari luar masuk ke dalam *wave collector* melalui lubang *orifice* dan memutar turbin.

## 2.6 Dasar Teori

### 2.6.1 Perhitungan Energi Gelombang

Untuk mengetahui daya yang dihasilkan oleh gelombang laut, langkah pertama yang harus dilakukan adalah melakukan perhitungan mengenai energi gelombang laut yang tersedia. Energi potensial dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$PE = mg \frac{y(x,t)}{2} \quad (2.1)$$

Keterangan :

PE = energi potensial (J)

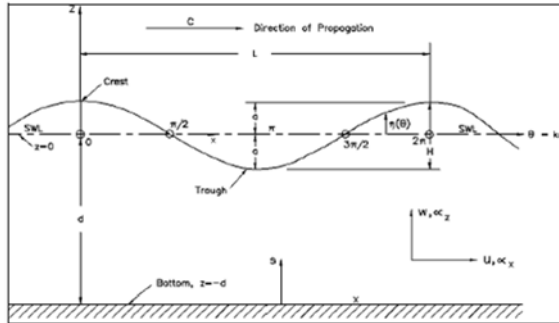
m = massa gelombang (kg)

g = gaya gravitasi ( $m/s^2$ )

y = y(x,t) = tinggi dari dasar laut ke permukaan (d+η)

(Mc Cormick, Michael, 1981)

Sama halnya dengan gelombang suara, gelombang laut memiliki properti; amplitudo dan frekuensi.



**Gambar 2. 26 Gelombang dan kelengkapannya**

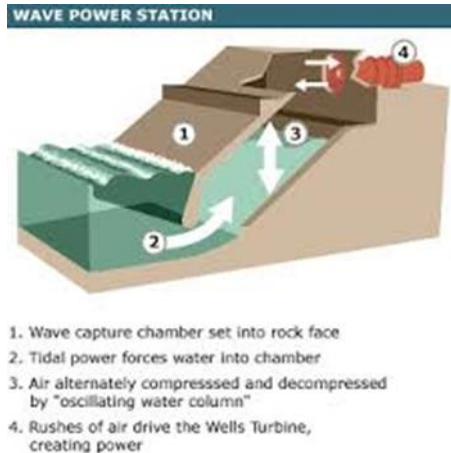
(Sumber:

<http://brighthubengineering.com>)

### **2.6.2 Perhitungan Daya Gelombang yang Dihasilkan OWC**

Parameter yang digunakan adalah  $T$  dan  $H$ , dan lebar gelombang laut diasumsikan sama dengan lebar kolom, maka dari itu  $E_W$ ,  $E_{WD}$ ,  $P_W$  dan  $P_{WD}$  didapatkan dengan menggunakan formula di atas.





**Gambar 2. 27 Skema cara kerja OWC**  
 (Sumber: Studi Perancangan PLTGL Tipe OWC Fixed dengan Turbin Mc Cormick, 2016)

Keterangan gambar :

- 1: *front wall*
- 2: *sea water entrance*
- 3: kolom udara
- 4: *orifice dan turbin*

1) *Front wall*

Front wall adalah bagian terluar dari kolom OWC, fungsi dari front wall adalah untuk mengalirkan aliran gelombang laut agar tidak merambat ke orifice ataupun turbin.

2) *Sea water entrance*

Lubang pada kolom OWC yang berfungsi sebagai jalan masuk air laut menuju ke dalam kolom OWC, sehingga udara yang ada di dalam kolom OWC terdorong dan memutar turbin yang ada di dalam orifice.

## 3) Kolom udara

Kolom udara adalah kolom tempat udara yang ada di dalam OWC.

4) *Orifice* dan turbin

*Orifice* adalah lubang tempat peletakan turbin. Turbin di dalam orifice tersebut dapat berputar karena udara yang ada di dalam kolom OWC terdorong keluar dan udara yang berada di luar tersedot masuk ke dalam kolom OWC.

Untuk menghitung daya keluaran OWC dapat digunakan persamaan Bernouli, dengan mempertimbangkan beberapa parameter.

$$P_u = (p_2 - p_1) v_1 A_1$$

Dengan :

$P_u$  : daya pada OWC (watt)

$p_2$  : tekanan udara pada orifice (Pa)

$p_0$  : tekanan udara di luar sistem (Pa)

$v_1$  : kecepatan udara pada kolom OWC (m/sec)

$A_1$  : area kolom (m<sup>2</sup>)

(Mc Cormick, Michael, 1981)

Tahapan-tahapannya adalah sebagai berikut :

## 1. Menghitung panjang gelombang

$$\lambda = \frac{g}{2\pi} T^2 \quad (2.17)$$

## 2. Menghitung frekuensi di dalam kolom

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.18)$$

3. Menghitung kecepatan sudut dari gelombang

$$\omega = 2\pi f \quad (2.19)$$

4. Menghitung kecepatan aliran udara sekitar kolom

$$v_1 = -\frac{\omega}{2} H \sin(\omega t) \quad (2.20)$$

5. Menghitung aliran udara pada *orifice*

$$v_2 = \frac{A_2}{A_1} v_1 \quad (2.21)$$

6. Menghitung debit udara

$$Q_1 = v_1 A_1 \quad (2.22)$$

$$Q_2 = v_2 A_2 \quad (2.23)$$

(Mc Cormick, Michael, 1981)

1. Menghitung daya yang dihasilkan

$$P = \frac{1}{2} \text{mass flow } V^2 \quad (2.24)$$

2. Menghitung potensi kecepatan

$$\phi_2 \cong v_2 \eta_2 = -\left(\frac{A_1}{A_2}\right) v_1 \frac{\omega H^2}{4} \sin(\omega t) \cos(\omega t) \quad (2.25)$$

Dengan :

$\lambda$  : panjang gelombang (m)

$g$  : gaya gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

$T$  : periode gelombang (sec)

$v_1$  : kecepatan aliran udara sekitar kolom OWC (m/sec)

$f_c$  : frekuensi resonansi putaran pada area kolom (Hz)

$\omega_c$  : kecepatan sudut gelombang pada area kolom (m/sec)

$v_2$  : kecepatan udara pada orifice (m/sec)

$A_1$  : area kolom OWC ( $\text{m}^2$ )

- $A_2$  : area kolom orifice ( $m^2$ )  
 $Q_1$  : debit air pada kolom OWC ( $m^3/sec$ )  
 $Q_2$  : debit udara pada orifice ( $m^3/sec$ )  
 $P$  : daya OWC

### 2.6.3 Perhitungan *Annual Energy*

Parameter yang digunakan untuk melakukan perbandingan adalah menggunakan Annual Energy, yaitu energi tahunan yang dapat di peroleh dari turbin tersebut pada suatu tempat yang di tentukan pada waktu satu tahun. Yang mana secara matematis dituliskan sebagai berikut :

Eyear

$$= \frac{8765 \text{ hr}}{\text{Year}} \sum_{V_{cut-in}}^{V_{cut-out}} P(u) \cdot f(u) \cdot \Delta(u)$$

dengan :

$P(u)$  = Daya pada kecepatan tersebut. Dalam analisa ini dipilih kecepatan tengah pada range tersebut

$f(u)$  = Frekuensi probabilitas munculnya suatu kecepatan angin. Dilihat dari data excel. Data dibuat dalam bentuk persentase dari 12 data (12 bulan)

$V_{cut-out}$  = batas kecepatan tertinggi ( $m/s$ ) = 2.5  $m/s$

$V_{cut-in}$  = batas kecepatan terendah ( $m/s$ ) = 1  $m/s$

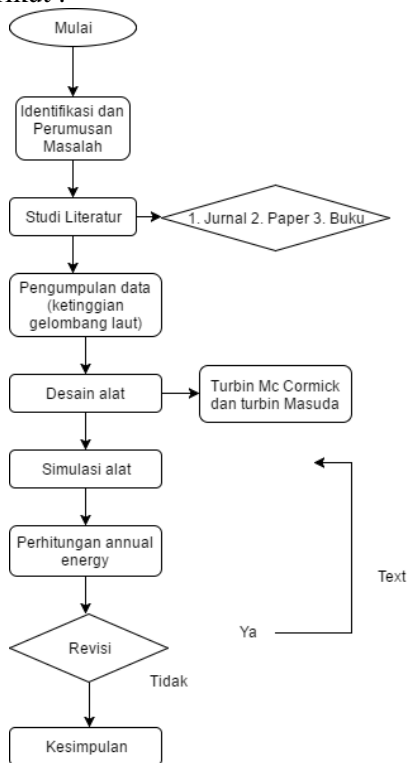
$\Delta u$  = Rentang kecepatan, Dalam analisa ini dipilih nilai 0.25  $m/s$

(Det Norske Veritas and Riso National Laboratory. 2002. “*Guidelines for Design of Wind Turbines : 2nd Edition*”. Det Norske Veritas, Copenhagen)



### BAB III METODOLOGI

Metodologi penelitian adalah gambaran umum mengenai prosedur dan langkah-langkah pengerjaan suatu penelitian. Dalam metodologi penelitian ini, akan diuraikan tahap demi tahap yang akan dilakukan dalam pengerjaan skripsi ini nantinya. Adapun tahapan-tahapannya dijelaskan dalam *flow chart* berikut :



**Gambar 3. 1** *Flow chart* pengerjaan

Untuk mendapatkan hasil yang baik dan terstruktur, dalam pengerjaan skripsi ini diperlukan prosedur dan langkah-langkah pengerjaan yang sistematis. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam skripsi ini antara lain

### **3.1 Perumusan Masalah**

Perumusan masalah merupakan tahap awal dalam pengerjaan skripsi. Merupakan tahapan yang sangat penting, dimana pada tahap ini suatu permasalahan harus dipecahkan dan diselesaikan sehingga layak untuk dijadikan bahan dalam skripsi. Pencarian suatu masalah dapat dilakukan dengan cara menggali informasi mengenai masalah yang terjadi pada saat ini. Dari tahap ini, tujuan mengapa skripsi ini dikerjakan dan diselesaikan dapat diketahui.

### **3.2 Studi Literatur**

Apabila suatu permasalahan sudah diketahui, maka langkah berikutnya adalah studi literatur. Pada tahap ini yang harus dilakukan adalah mencari referensi untuk permasalahan-permasalahan yang ada dilengkapi dengan solusinya dan mempelajari kedua hal tersebut untuk dapat diimplementasikan pada skripsi ini, sehingga dapat terencana hal yang harus dilakukan agar permasalahan dapat terpecahkan. Studi literatur dapat dilakukan dengan cara mencari paper atau jurnal yang berhubungan dengan permasalahan yang akan dipecahkan. Dalam hal ini referensi yang akan di pakai adalah sebagai berikut :

1. Publishable report of LIMPET Islay Power Plant
2. Teknik Pantai
3. Studi Perancangan PLTGL Tipe OWC fixed dengan Turbin Mc Cormick di Pantai Bandeaalit, Jember



4. Studi Perancangan PLTGL Tipe OWC fixed dengan Katup Masuda di Pantai Bandealit, Jember
5. Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya
6. Wave Energy Conversion
7. Studi Perancangan Sistem Konversi Energi Gelombang Laut Tipe OWC di Daerah Bandealit Jember
8. A Brief Review of Wave Energy

### **3.3 Pengumpulan Data**

Tahap berikutnya adalah pengumpulan data yang bertujuan untuk memperoleh data dan informasi untuk membantu pengerjaan skripsi. Berikut adalah data yang dibutuhkan antara lain:

1. Ketinggian gelombang laut pantai Bandealit
2. Ketinggian gelombang laut pantai Tamban
3. Ketinggian gelombang laut pantai Payangan
4. Ketinggian gelombang laut pantai Watukarung

### **3.4 Desain Alat**

Pada tahap selanjutnya dilakukan adalah desain alat, yaitu turbin Mc Cormick dan turbin Masuda, desain alat tersebut menggunakan software Solidwork.

### **3.5 Uji Coba Alat**

Uji coba alat dilakukan setelah desain alat selesai, bertujuan untuk mengetahui nilai torsi dan aliran massa dari setiap jenis turbin. Uji coba alat menggunakan software Ansys.

### **3.6 Perhitungan *Annual Energy***

*Output* setelah uji coba alat dilakukan adalah nilai torsi dan nilai laju aliran massa, kedua nilai tersebut digunakan untuk menghitung daya yang dihasilkan setiap jenis turbin. Kemudian dilakukan perhitungan energi tahunan di setiap lokasi.

### **3.7 Kesimpulan**

Kesimpulan dibuat setelah diketahui jenis turbin yang menghasilkan energi tahunan paling besar di setiap lokasi perencanaan.

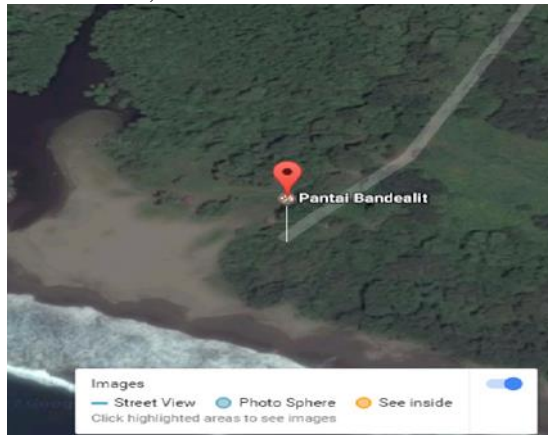
## **BAB IV**

### **ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Gambaran Umum**

Pantai selatan Jawa Timur merupakan pantai dengan potensial yang cukup mumpuni untuk pembangunan PLTGL, dalam tugas akhir ini diambil empat pantai yang berlokasi di pantai selatan Jawa Timur, yaitu Pantai Bandalit (Kabupaten Jember), Pantai Payangan (Kabupaten Jember), Pantai Tamban (Kabupaten Malang) dan Pantai Watu Karung (Kabupaten Pacitan).

Pantai Bandalit terletak di Balai Taman Nasional Meru Betiri, desa Andongrejo, kecamatan Tempurejo, kabupaten Jember, dengan koordinat 8, 4817961° S 113, 717° E.



**Gambar 4. 1 Lokasi pantai Bandalit**  
(Sumber: <https://www.google.com/maps/place/Pantai+Bandalit/>)

Pantai Tamban terletak di desa Tambakrejo, kecamatan Sumbermanjing, kabupaten Malang, dengan koordinat 8, 4173°S, 112, 7099°E.

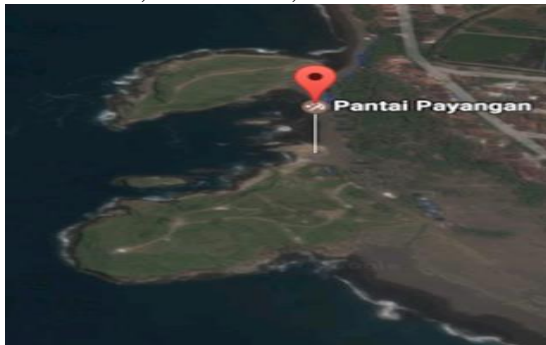


**Gambar 4. 2 Lokasi pantai Tamban**

(Sumber:

[:https://www.google.com/maps/place/Pantai+Tamban](https://www.google.com/maps/place/Pantai+Tamban)

Pantai Payangan terletak di desa Sumberrejo, kecamatan Ambulu, kabupaten Jember, dengan koordinat 8, 4365°S 113, 5813°E.



**Gambar 4. 3 Lokasi pantai Payangan**

(Sumber:

[:https://www.google.com/maps/place/Pantai+Payangan/](https://www.google.com/maps/place/Pantai+Payangan/)

Pantai Watu Karung terletak di desa Pringkuku, kecamatan Watukarung, kabupaten Pacitan, dengan koordinat 8, 2369°S 110, 9732°E.



**Gambar 4. 4 Lokasi pantai Watukarung**

(Sumber: <https://www.google.com/maps/place/Pantai+Watukarung/>)

## **4.2 Data**

### **4.2.1 Data Ketinggian Gelombang Laut**

Berdasarkan data ketinggian gelombang laut sepanjang tahun 2016 yang diperoleh dari Stasiun Meteorologi Maritim Perak II, diperoleh data sebagai berikut :

**Tabel 4. 1 Ketinggian gelombang laut pantai  
Bandalit tahun 2016**

Bulan	h	$\lambda$	T	Vwind
Januari	0.34	15.930	3.193	4.234
Februari	0.47	20.234	3.5989995	4.059
Maret	0.37	17.733	3.369	2.856
April	0.45	16.977	3.297	5.424
Mei	0.34	10.158	2.550	4.821
Juni	0.38	10.701	2.617	5.439
Juli	0.47	12.118	2.785	6.057
Agustus	0.61	18.385	3.431	6.818
September	0.60	18.610	3.452	5.880
Oktober	0.53	19.073	3.494	4.643
November	0.55	18.800	3.469	3.642
Desember	0.44	11.669	2.733	5.010

**Tabel 4. 2 Ketinggian gelombang laut pantai  
Tamban tahun 2016**

Bulan	h	$\lambda$	T	Vwind
Januari	0.28	9.864	2.513	4.404
Februari	0.42	13.156	2.902	4.265
Maret	0.33	11.440	2.706	3.426
April	0.44	11.021	2.656	5.517
Mei	0.66	30.646	4.429	4.765
Juni	0.75	32.141	4.536	5.110
Juli	1.08	36.665	4.845	5.905
Agustus	0.57	11.786	2.747	7.694
September	0.55	12.032	2.775	6.753
Oktober	0.50	12.456	2.824	5.108
November	0.48	12.308	2.807	4.898
Desember	0.60	14.030	2.997	6.281

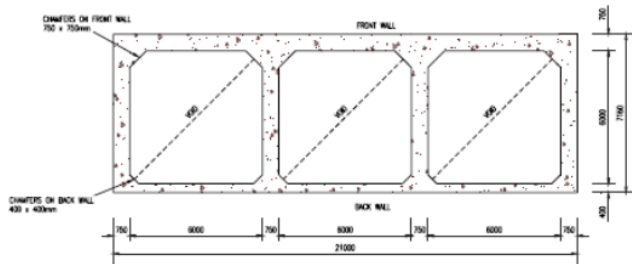
**Tabel 4. 3 Ketinggian gelombang laut pantai Payangan tahun 2016**

Bulan	h	$\lambda$	T	Vwind
Januari	0.35	16.643	3.264	4.050
Februari	0.48	21.151	3.680	3.839
Maret	0.38	18.512	3.442	2.740
April	0.48	17.722	3.368	5.127
Mei	0.48	19.761	3.557	4.429
Juni	0.53	20.732	3.643	4.997
Juli	0.82	23.461	3.875	5.586
Agustus	0.64	19.158	3.502	6.521
September	0.62	19.381	3.522	5.638
Oktober	0.56	19.897	3.569	4.441
November	0.56	19.645	3.546	3.546
Desember	0.70	22.454	3.791	6.355

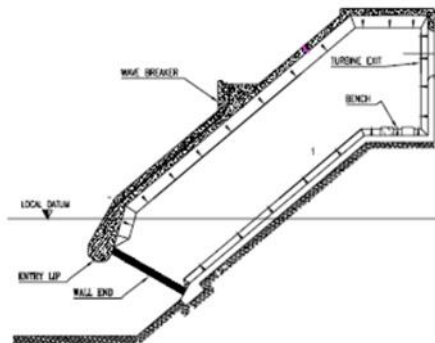
**Tabel 4. 4 Ketinggian gelombang laut pantai Watukarung tahun 2016**

Bulan	H	$\lambda$	T	Vwind
Januari	0.232	7.427	2.180	3.946
Februari	0.374	10.256	2.562	3.725
Maret	0.298	8.933	2.391	3.328
April	0.392	8.553	2.340	5.014
Mei	0.429	10.346	2.574	4.997
Juni	0.472	10.938	2.646	4.713
Juli	0.735	12.511	2.830	5.487
Agustus	0.542	9.506	2.467	7.455
Oktober	0.467	9.681	2.489	4.730
November	0.437	9.303	2.440	4.840
Desember	0.552	11.680	2.734	6.617

Berdasarkan Publishable Report of LIMPET Islay Power Plant, lebar kolom divariasikan menjadi 5m, 6m dan 7m, namun untuk tugas akhir ini lebar kolom divariasikan hanya dengan lebar 4m. Lebar kolom disesuaikan dengan ketinggian gelombang.



**Gambar 4. 5 Penampang melintang kolom**  
(Sumber: Publishable Report of LIMPET Islay Power Plant)



**Gambar 4. 6 Tampak samping wave collector**  
(Sumber: Publishable Report of LIMPET Islay Power Plant)



#### 4.2.2 Data Daya Gelombang Laut

Setelah didapat nilai ketinggian gelombang laut, maka dilakukan perhitungan energi dan daya yang dihasilkan, dengan menggunakan formula sebagai berikut:

$$E_w = 0,195 w \rho g h^2 T^2$$

$$P_w = (E_w/t) 10^{-3}$$

Dimana :

w = lebar kolom

$\rho$  = massa jenis air laut

g = percepatan gravitasi

h = tinggi gelombang laut

T = periode gelombang

Dari perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan data sebagai berikut:

**Tabel 4. 5 Daya gelombang laut pantai  
Bandealit tahun 2016**

h	T	Ew (J)	Pw (kW)
		4	4
0.34	3.193	9245.77	2.895
0.47	3.599	22441.24	6.235
0.37	3.369	12188.77	3.618
0.45	3.297	17260.74	5.236
0.34	2.550	5896.07	2.312
0.38	2.617	7758.36	2.964
0.47	2.785	13440.34	4.826
0.61	3.431	34348.50	10.012
0.6	3.452	33638.60	9.746
0.53	3.494	26900.10	7.698
0.55	3.469	28554.10	8.231
0.44	2.733	11343.13	4.150

**Tabel 4. 6 Daya gelombang laut pantai Tamban tahun 2016**

h	T	Ew (J)	Pw (kW)
		4	4
0.28	2.513	3882.82	1.5452
0.42	2.902	11652	4.0151
0.33	2.706	6255.068	2.3114
0.44	2.656	10712.84	4.0332
0.66	4.429	67025.46	15.1324
0.75	4.536	90773.7	20.0117
1.08	4.845	214722.4	44.3207
0.57	2.747	19226.24	6.9995
0.55	2.775	18274.32	6.5846
0.5	2.824	15634.96	5.5368
0.48	2.807	14237.97	5.0723
0.6	2.997	25359.36	8.4618

**Tabel 4. 7 Daya gelombang laut pantai Payangan tahun 2016**

H	T	Ew (J)	Pw (kW)
		4	4
0.35	3.264	10236.37	3.136062
0.48	3.680	24467.61	6.649373
0.38	3.442	13421.43	3.898761
0.48	3.368	20500.92	6.086556
0.48	3.557	22859.65	6.427169
0.53	3.643	29239.57	8.02611
0.82	3.875	79204.95	20.43778
0.64	3.502	39399.27	11.2504
0.62	3.522	37405.69	10.6195
0.56	3.569	31328.66	8.778143
0.56	3.546	30931.87	8.722377
0.70	3.791	55241.81	14.57054

**Tabel 4. 8 Daya gelombang laut pantai  
Watukarung tahun 2016**

H	T	E <sub>w</sub> (J)	P <sub>w</sub> (kW)
		4	4
0.232	2.180	2007.093	0.920482
0.374	2.562	7202.766	2.811027
0.298	2.391	3982.979	1.665574
0.392	2.340	6598.857	2.820098
0.429	2.574	9560.16	3.714784
0.472	2.646	12234.89	4.623659
0.735	2.830	33934.76	11.99095
0.542	2.467	14020.85	5.683689
0.467	2.489	10600.64	4.258206
0.437	2.440	8919.983	3.655167
0.552	2.734	17868.95	6.534801

Dari tabel 4.5, 4.6, 4.7 dan 4.8, dengan tinggi gelombang laut (H) yang berbeda didapatkan besar daya dan energi yang bervariasi. Meningkatnya nilai energi kinetik menyebabkan nilai daya yang dihasilkan meningkat pula.

Energi kinetik tertinggi yang dihasilkan di Pantai Tamban adalah sebesar 214.722,4 Joule, dengan daya yang dihasilkan adalah sebesar 44, 32 kW dengan ketinggian gelombang 1,08 m.

Energi kinetik tertinggi yang dihasilkan di Pantai Bandalit adalah sebesar 34.348,50 Joule, daya yang dihasilkan adalah sebesar 10, 01 kW dengan ketinggian gelombang 0,61 m.

Energi kinetik tertinggi yang dihasilkan di Pantai Payangan adalah sebesar 79.204, 95 Joule, daya yang dihasilkan adalah sebesar 20, 43 kW dengan ketinggian gelombang 1,08 m.

Lebar kolom berpengaruh terhadap besarnya energi yang dihasilkan, namun untuk penelitian kali ini lebar kolom tidak divariasikan, maka dari itu lebar kolom tidak ada pengaruhnya.

### 4.2.3 Data Kecepatan Udara Pada OWC

Setelah mendapatkan nilai daya dan energy yang dihasilkan, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai kecepatan udara pada OWC, dengan menggunakan formula:

$$v1 = -\frac{\omega}{2} H \sin(\omega t)$$

Dimana:

$v1$  : kecepatan udara di sekitar kolom (m/sec)

$\omega$  : kecepatan sudut gelombang (m/sec)

$H$  : tinggi gelombang (m)

Dari perhitungan tersebut didapatkan data sebagai berikut:

**Tabel 4. 9 Kecepatan udara pada OWC (Pantai Bandealit)**

h	T					
		f	$\omega$	$\sin(\omega t)$	$(\omega/2)h$	V1
0.34	3.193	0.313149	1.9665763	-0.55898	-0.334318	0.186878
0.47	3.599	0.277855	1.7449294	-0.50265	-0.4100584	0.206117
0.37	3.369	0.296801	1.863911	-0.53318	-0.3448235	0.183854
0.45	3.297	0.303338	1.9049613	-0.54356	-0.4286163	0.232979
0.34	2.550	0.39214	2.4626394	-0.67575	-0.4186487	0.2829
0.38	2.617	0.38207	2.3993972	-0.66164	-0.4558855	0.301632
0.47	2.785	0.359035	2.2547384	-0.62849	-0.5298635	0.333012
0.61	3.431	0.291487	1.8305404	-0.52469	-0.5583148	0.292941
0.60	3.452	0.289718	1.8194313	-0.52185	-0.5458294	0.284839
0.53	3.494	0.286182	1.7972244	-0.51615	-0.4762645	0.245825
0.55	3.469	0.288252	1.8102219	-0.51949	-0.497811	0.258607
0.44	2.733	0.365873	2.2976808	-0.63846	-0.5054898	0.322733

**Tabel 4. 10 Kecepatan udara pada OWC (Pantai Tamban)**

h	T					
		f	$\omega$	$\sin(\omega t)$	$(\omega/2)h$	V1
0.28	2.513	0.39795	2.499124	-0.68377	-0.34988	0.239237
0.42	2.902	0.344582	2.163976	-0.60708	-0.45443	0.275877
0.33	2.706	0.369523	2.320605	-0.64373	-0.3829	0.246485
0.44	2.656	0.376482	2.364307	-0.65371	-0.52015	0.340026
0.66	4.429	0.225771	1.417841	-0.41554	-0.46789	0.194426
0.75	4.536	0.220458	1.384473	-0.40642	-0.51918	0.211002
1.08	4.845	0.206409	1.296249	-0.38209	-0.69997	0.267455
0.57	2.747	0.364059	2.286289	-0.63582	-0.65159	0.414296
0.55	2.775	0.360318	2.262796	-0.63037	-0.62227	0.392257
0.50	2.824	0.354132	2.22395	-0.62128	-0.55599	0.345422
0.48	2.807	0.356255	2.237281	-0.62441	-0.53695	0.335273
0.60	2.997	0.333677	2.09549	-0.59062	-0.62865	0.371294

**Tabel 4. 11 Kecepatan udara pada OWC (Pantai Payangan)**

h	T					
		f	$\omega$	$\sin(\omega t)$	$(\omega/2)h$	V1
0.35	3.264	0.306365	1.923971	-0.54834	-0.33669	0.184623
0.48	3.680	0.271762	1.706667	-0.4927	-0.4096	0.201808
0.38	3.442	0.290488	1.824264	-0.52308	-0.34661	0.181306
0.48	3.368	0.296892	1.864481	-0.53333	-0.44748	0.238651
0.48	3.557	0.281158	1.765671	-0.50802	-0.42376	0.21528
0.53	3.643	0.274495	1.723827	-0.49717	-0.45681	0.227114
0.82	3.875	0.258037	1.62047	-0.47003	-0.66439	0.312286
0.64	3.502	0.285548	1.793243	-0.51513	-0.57384	0.295601
0.62	3.522	0.283901	1.782897	-0.51247	-0.5527	0.283239
0.56	3.569	0.280195	1.759627	-0.50646	-0.4927	0.24953
0.56	3.546	0.281987	1.770877	-0.50937	-0.49585	0.252567
0.70	3.791	0.263759	1.656409	-0.47952	-0.57974	0.277998

**Tabel 4. 12 Kecepatan udara pada OWC (Pantai Watukarung)**

h	T					
		f	$\omega$	$\sin(\omega t)$	$(\omega/2)h$	V1
0.232	2.180	0.458615	2.8801	-0.76253	-0.33409	0.254755
0.374	2.562	0.39027	2.450898	-0.67315	-0.45832	0.308515
0.298	2.391	0.418173	2.626127	-0.71107	-0.39129	0.278238
0.392	2.340	0.427362	2.683831	-0.72314	-0.52603	0.380393
0.429	2.574	0.388569	2.440215	-0.67077	-0.52343	0.3511
0.472	2.646	0.377908	2.37326	-0.65574	-0.56009	0.367273
0.735	2.830	0.353353	2.219056	-0.62013	-0.8155	0.505714
0.542	2.467	0.405374	2.545748	-0.69391	-0.6899	0.478729
0.467	2.489	0.401693	2.522634	-0.6889	-0.58903	0.405788
0.437	2.440	0.409773	2.573373	-0.69986	-0.56228	0.393517
0.552	2.734	0.365707	2.29664	-0.63821	-0.63387	0.404547

Dari tabel 4.9, 4.10, 4.11 dan 4.12, didapatkan nilai kecepatan udara pada kolom, yang terbesar di Pantai Bandialit yaitu 0, 33 m/sec, dengan ketinggian gelombang 0, 47 m dan kecepatan sudut gelombang 2, 25 m/sec. Pantai Tamban dengan ketinggian gelombang sebesar 0, 57 m menghasilkan kecepatan udara pada kolom 0, 41 m/sec dengan kecepatan sudut gelombang 2, 28 m.

Pantai Payangan dengan ketinggian gelombang 0, 82 m kecepatan udara pada kolom sebesar 0, 31 m/sec dan sudut kecepatan 1, 62 m/sec. Pantai Watukarung dengan ketinggian gelombang 0, 73 m menghasilkan kecepatan udara pada kolom sebesar 0, 50 m/sec dengan kecepatan sudut 2, 21 m/sec.

Kecepatan udara pada OWC dipengaruhi oleh kecepatan sudut gelombang

dibagi dua, ketinggian gelombang dan nilai dari  $\sin(\omega t)$ .

Semakin besar nilai kecepatan sudut gelombang, maka kecepatan udara pada kolom OWC akan semakin besar, berlaku pula sebaliknya.

Ketinggian gelombang juga berpengaruh terhadap kecepatan aliran udara pada kolom OWC, semakin tinggi gelombang, maka aliran udara pada OWC akan semakin cepat mengalir, hal tersebut berlaku sebaliknya.

#### **4.2.4 Data Kecepatan dan Kapasitas Udara Pada *Orifice***

Langkah perhitungan selanjutnya adalah menghitung nilai kecepatan dan kapasitas udara pada *orifice*, dengan menggunakan formula sebagai berikut:

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1$$

Dimana:

$v_2$  : kecepatan udara pada *orifice*

$A_1$  : luasan pada kolom

$A_2$  : luasan pada *orifice*

Nilai luasan  $A_1$  dan  $A_2$  didapatkan dengan cara melakukan hatch pada desain yang terdapat di Auto CAD, didapatkan luasan sebesar:

$A_1$  : 73,17 m<sup>2</sup>

$A_2$  : 12,56 m<sup>2</sup>



**Tabel 4. 13 Kecepatan dan Kapasitas Udara Pada Orifice (Bandealit)**

Bulan	V1	V2	V2	Q
		4m	4m	4m
Januari	0.186878	1.088683	1.0886828	79.65892
Februari	0.206117	1.200762	1.20076167	87.85973
Maret	0.183854	1.071067	1.07106708	78.36998
April	0.232979	1.357251	1.35725146	99.31009
Mei	0.2829	1.648075	1.64807526	120.5897
Juni	0.301632	1.7572	1.75720009	128.5743
Juli	0.333012	1.94001	1.94000978	141.9505
Agustus	0.292941	1.706565	1.70656526	124.8694
September	0.284839	1.659371	1.65937099	121.4162
Oktober	0.245825	1.432088	1.43208764	104.7859
November	0.258607	1.50655	1.50655025	110.2343
Desember	0.322733	1.880123	1.88012296	137.5686

**Tabel 4. 14 Kecepatan dan Kapasitas Udara Pada Orifice (Tamban)**

Bulan	V1	V2	V2	Q
		4m	4m	4m
Januari	0.239237	1.393709	1.39370852	101.9777
Februari	0.275877	1.607161	1.60716129	117.596
Maret	0.246485	1.435935	1.43593473	105.0673
April	0.340026	1.980867	1.98086725	144.9401
Mei	0.194426	1.132658	1.13265765	82.87656
Juni	0.211002	1.229219	1.22921942	89.94199
Juli	0.267455	1.558098	1.55809774	114.006
Agustus	0.414296	2.413539	2.41353927	176.5987
September	0.392257	2.285147	2.28514654	167.2042
Oktober	0.345422	2.012302	2.01230206	147.2401
November	0.335273	1.953177	1.95317735	142.914
Desember	0.371294	2.163024	2.16302431	158.2685

**Tabel 4. 15 Kecepatan dan Kapasitas Udara Pada Orifice (Payangan)**

Bulan	V1	V2	V2	Q
		4m	4m	4m
Januari	0.184623	1.075546	1.07554615	78.69771
Februari	0.201808	1.175663	1.17566291	86.02325
Maret	0.181306	1.056222	1.05622245	77.2838
April	0.238651	1.390294	1.39029439	101.7278
Mei	0.21528	1.254143	1.25414272	91.76562
Juni	0.227114	1.323084	1.32308422	96.81007
Juli	0.312286	1.819262	1.81926195	133.1154
Agustus	0.295601	1.722062	1.72206193	126.0033
September	0.283239	1.650048	1.65004812	120.734
Oktober	0.24953	1.453672	1.45367174	106.3652
November	0.252567	1.471364	1.4713636	107.6597
Desember	0.277998	1.619518	1.61951822	118.5001

**Tabel 4. 16 Kecepatan dan Kapasitas Udara Pada Orifice (Watukarung)**

Bulan	V1	V2	V2	Q
		4m	4m	4m
Januari	0.254755	1.48411	1.48411029	108.5923
Februari	0.308515	1.797296	1.79729617	131.5082
Maret	0.278238	1.620913	1.62091266	118.6022
April	0.380393	2.21603	2.21602999	162.1469
Mei	0.3511	2.04538	2.04538004	149.6605
Juni	0.367273	2.139602	2.13960191	156.5547
Juli	0.505714	2.946106	2.9461062	215.5666
Agustus	0.478729	2.788903	2.78890285	204.064
Oktober	0.405788	2.363976	2.36397568	172.9721
November	0.393517	2.292488	2.29248769	167.7413
Desember	0.404547	2.356744	2.35674358	172.4429

Dari tabel 4.13, 4.14, 4.15 dan 4.16 didapatkan nilai kecepatan dan kapasitas udara pada *orifice*.

Besarnya kecepatan udara pada *orifice* dipengaruhi oleh luasan kolom, luasan *orifice* dan kecepatan udara pada kolom. Semakin luas kolom, maka kecepatan udara akan semakin besar, namun semakin luas *orifice* maka kecepatan udara pada *orifice* akan semakin kecil.

Besarnya kapasitas udara pada *orifice* dipengaruhi dua faktor yaitu kecepatan udara pada kolom dan luasan *orifice*. Semakin luas sebuah *orifice*, maka kapasitas udara akan semakin besar, berlaku pula sebaliknya. Semakin besar kecepatan udara di kolom, maka kapasitas udara pada *orifice* akan semakin besar, dan sebaliknya.

#### **4.2.5 Data Potensial Kecepatan Udara Pada Orifice**

Setelah mendapatkan nilai kapasitas udara pada *orifice*, maka kita dapat menghitung nilai potensial kecepatan udara, dengan menggunakan formula sebagai berikut:

$$\phi_2 \cong v_2 \eta_2 = - \left( \frac{A_1}{A_2} \right) v_1 \frac{\omega H^2}{4} \sin(\omega t) \cos(\omega t)$$

Dimana:

$\phi_2$  : potensial kecepatan udara

Dari perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan data sebagai berikut:

**Tabel 4. 17 Potensial kecepatan udara di orifice (Bandealit)**

T	$\omega$	$\sin(\omega t)$	$\cos(\omega t)$	$\phi$
				4m
3.193	1.966576	-0.55898	0.8291794	0.028679
3.599	1.744929	-0.50265	0.8644887	0.05028
3.369	1.863911	-0.53318	0.8459999	0.03082
3.297	1.904961	-0.54356	0.8393697	0.059719
2.550	2.462639	-0.67575	0.737134	0.058426
2.617	2.399397	-0.66164	0.7498212	0.075511
2.785	2.254738	-0.62849	0.7778199	0.11809
3.431	1.83054	-0.52469	0.8512952	0.129802
3.452	1.819431	-0.52185	0.8530391	0.120958
3.494	1.797224	-0.51615	0.8564967	0.079904
3.469	1.810222	-0.51949	0.8544776	0.09155
2.733	2.297681	-0.63846	0.7696589	0.102742

**Tabel 4. 18 Potensial kecepatan udara di orifice (Tamban)**

T	$\omega$	$\sin(\omega t)$	$\cos(\omega t)$	$\phi$
				4m
2.513	2.499124	-0.68377	0.729694	0.034062
2.902	2.163976	-0.60708	0.794642	0.073989
2.706	2.320605	-0.64373	0.76525	0.04469
2.656	2.364307	-0.65371	0.756745	0.112135
4.429	1.417841	-0.41554	0.909574	0.066101
4.536	1.384473	-0.40642	0.913688	0.088868
4.845	1.296249	-0.38209	0.924124	0.207955
2.747	2.286289	-0.63582	0.771836	0.219956
2.775	2.262796	-0.63037	0.776298	0.191358
2.824	2.22395	-0.62128	0.783592	0.136167
2.807	2.237281	-0.62441	0.781101	0.12276
2.997	2.09549	-0.59062	0.806947	0.194422

**Tabel 4. 19 Potensial kecepatan udara di orifice  
(Payangan)**

T	$\omega$	$\sin(\omega t)$	$\cos(\omega t)$	$\varphi_2$
				4m
3.264	1.923971	-0.54834	0.836256	0.02906
3.680	1.706667	-0.4927	0.870201	0.049551
3.442	1.824264	-0.52308	0.852282	0.03101
3.368	1.864481	-0.53333	0.845909	0.06736
3.557	1.765671	-0.50802	0.861344	0.055813
3.643	1.723827	-0.49717	0.867653	0.069091
3.875	1.62047	-0.47003	0.88265	0.205598
3.502	1.793243	-0.51513	0.857113	0.139618
3.522	1.782897	-0.51247	0.858707	0.12441
3.569	1.759627	-0.50646	0.862264	0.087576
3.546	1.770877	-0.50937	0.86055	0.089543
3.791	1.656409	-0.47952	0.877531	0.13828

**Tabel 4. 20 Potensial kecepatan udara di orifice  
(Watukarung)**

T	$\omega$	$\sin(\omega t)$	$\cos(\omega t)$	$\varphi_2$
				4m
2.180	2.8801	-0.76253	0.136446	0.005984
2.562	2.450898	-0.67315	0.047902	0.004967
2.391	2.626127	-0.71107	0.083593	0.005617
2.340	2.683831	-0.72314	0.095494	0.015777
2.574	2.440215	-0.67077	0.04575	0.007047
2.646	2.37326	-0.65574	0.032325	0.005995
2.830	2.219056	-0.62013	0.00186	0.001018
2.467	2.545748	-0.69391	0.067134	0.02429
2.489	2.522634	-0.6889	0.062428	0.013983
2.440	2.573373	-0.69986	0.072774	0.014345
2.734	2.29664	-0.63821	0.017106	0.004501

Potensial kecepatan udara dipengaruhi oleh luasan *orifice*, luasan kolom, kecepatan udara pada kolom, ketinggian gelombang, kecepatan sudut gelombang,  $\sin \omega t$  dan  $\cos \omega t$ .

Semakin tinggi sebuah gelombang, maka potensial kecepatan udara akan semakin besar, begitu juga sebaliknya. Semakin cepat udara mengalir di kolom dan di *orifice*, maka potensial kecepatan udara akan semakin besar, berlaku juga sebaliknya. Luasan pada *orifice* dan luasan juga berpengaruh terhadap potensial kecepatan udara, semakin luas sebuah *orifice* dan kolom, maka potensial kecepatan akan semakin besar, hal tersebut berlaku pada keadaan sebaliknya.

#### 4.2.6 Data Tekanan Udara Pada Orifice

Hal terakhir yang perlu diketahui sebelum menghitung nilai torsi dan laju aliran massa pada turbin adalah menghitung nilai tekanan udara pada *orifice*.

$$P_2 - P_0 = \rho \left( \frac{A_1}{A_2} \right) \frac{d\varphi^2}{dt} + \rho \frac{Q}{A_2} (v_2 - v_1)$$

Dimana:

$P_2$  : tekanan udara pada *orifice*

$P_0$  : tekanan udara pada kondisi awal

**Tabel 4. 21 Tekanan Udara Pada *Orifice* (Bandealit)**

T	V1	V2	P2
3.193	0.186878	1.088683	5589.9517
3.599	0.206117	1.200762	6535.2801
3.369	0.183854	1.071067	5346.2067
3.297	0.232979	1.357251	8502.6115
2.550	0.2829	1.648075	13285.244
2.617	0.301632	1.7572	15001.459
2.785	0.333012	1.94001	17932.978
3.431	0.292941	1.706565	12977.826
3.452	0.284839	1.659371	12275.413
3.494	0.245825	1.432088	9238.0243
3.469	0.258607	1.50655	10200.442
2.733	0.322733	1.880123	16954.428

**Tabel 4. 22 Tekanan Udara Pada *Orifice* (Tamban)**

T	V1	V2	P2
2.513	0.239237	1.393709	9541.643
2.902	0.275877	1.607161	12255.02
2.706	0.246485	1.435935	9983.537
2.656	0.340026	1.980867	18943.31
4.429	0.194426	1.132658	5376.345
4.536	0.211002	1.229219	6148.843
4.845	0.267455	1.558098	8780.427
2.747	0.414296	2.413539	27641.38
2.775	0.392257	2.285147	24744.31
2.824	0.345422	2.012302	19182.25
2.807	0.335273	1.953177	18129
2.997	0.371294	2.163024	21598.84

**Tabel 4. 23 Tekanan Udara Pada *Orifice* (Payangan)**

T	V1	V2	P2
3.264	0.184623	1.075546	5431.61
3.680	0.201808	1.175663	6230.685
3.442	0.181306	1.056222	5175.028
3.368	0.238651	1.390294	8844.091
3.557	0.21528	1.254143	7129.222
3.643	0.227114	1.323084	7825.074
3.875	0.312286	1.819262	13694.33
3.502	0.295601	1.722062	13079.15
3.522	0.283239	1.650048	12038.1
3.569	0.24953	1.453672	9426.117
3.546	0.252567	1.471364	9669.029
3.791	0.277998	1.619518	11217.73

**Tabel 4. 24 Tekanan Udara Pada *Orifice* (Watukarung)**

T	V1	V2	P2
2.180	0.254755	1.48411	11055.73
2.562	0.308515	1.797296	15766.49
2.391	0.278238	1.620913	13012.31
2.340	0.380393	2.21603	24458.03
2.574	0.3511	2.04538	20358.1
2.646	0.367273	2.139602	22082.41
2.830	0.505714	2.946106	40230.13
2.467	0.478729	2.788903	38179.02
2.489	0.405788	2.363976	27392.77
2.440	0.393517	2.292488	25906.87
2.734	0.404547	2.356744	26424.7



Besarnya tekanan udara pada *orifice*, dipengaruhi oleh luasan kolom, luasan *orifice*, turunan dari potensial kecepatan. Massa jenis air laut, kapasitas udara pada *orifice*, kecepatan udara pada kolom dan kecepatan udara pada *orifice*. Tekanan udara pada *orifice* akan semakin besar apabila kolom semakin luas, dan kapasitas udara semakin besar.

Sebaliknya, tekanan udara pada *orifice* akan mengecil apabila *orifice* semakin luas.

#### 4.2.7 Data Torsi dan *Mass Flow*

Berdasarkan dari perhitungan kecepatan udara yang diperoleh, nilai kecepatan udara pada *orifice* yang diperoleh berada dalam *range* 1 hingga 2,5 m/s. Oleh karena itu, ditetapkan variasi kecepatan yaitu; 1; 1,5; 2 dan 2,5 m/s.

Adapun, desain dari turbin diambil berdasarkan nilai kecepatan yang sering muncul dari nilai kecepatan udara pada *orifice* yaitu sekitar 1,5 m/s.

Untuk menentukan kecepatan rotasi, digunakan parameter *Tip Speed Ratio* (TSR), yaitu rasio antara kecepatan gerak blade (tangensial) terhadap kecepatan udara. Atau secara matematis ditulis :

$TSR = n \cdot R / u$ , dengan  $n$  = kecepatan rotasi (rad/s) dan  $R$  = jari-jari efektif turbin (m). Nilai TSR pada turbin aksial jenis ini pada umumnya bernilai 0,5. Sehingga diperoleh :  $0,5 = n \cdot 0,45 / 1,5 \rightarrow n = 1,66 \text{ rad/s} = 16 \text{ rpm}$

**Tabel 4. 25 Nilai torsi dan laju aliran massa (model turbin 1)**

V1 (m/s)	Torsi 1 (Nm)	Torsi 2 (Nm)	Mass flow (kg/s)	Daya (Watt)
1	1.910	0.496	1.630	2.406
1.25	3.207	1.420	2.055	7.711
1.5	3.309	1.690	2.438	8.331
1.75	5.178	3.327	2.878	14.175
2	5.762	4.118	3.259	16.466
2.25	7.727	6.246	3.706	23.288
2.5	8.078	7.258	4.069	25.56

**Tabel 4. 26 Nilai torsi dan laju aliran massa (model turbin 2)**

V1 (m/s)	Torsi (Nm)	Mass flow (kg/s)	Daya (Watt)
1	0.957	2.559	1.4355
1.25	1.561	3.157	2.3415
1.5	2.339	3.879	3.5085
1.75	2.891	4.019	4.3365
2	3.451	5.134	5.1765
2.25	3.892	5.599	5.838
2.5	4.279	6.883	6.4185

Setelah melakukan *running* dengan ANSYS, maka didapatkan nilai torsi dan laju aliran massa, seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.25 dan tabel 4.26, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai daya yang dihasilkan.

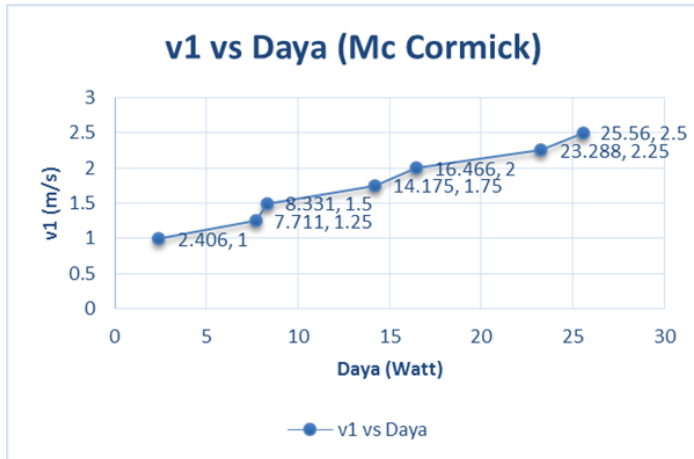
Nilai daya dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Daya} = \text{Torsi} \times \text{Kecepatan rotasi}$$

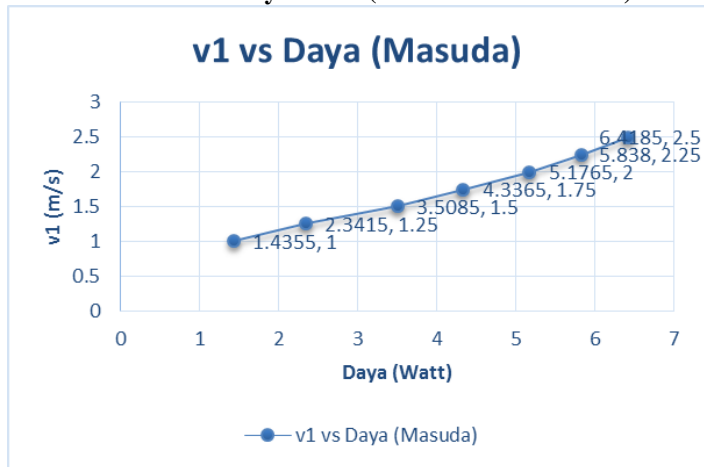
Nilai torsi didapat dua jenis yaitu torsi pada rotor bagian depan (Torsi 1) dan rotor bagian belakang (Torsi 2), dijumlahkan terlebih dahulu sebelum dikalikan dengan kecepatan

rotasi. Nilai kecepatan rotasi diambil dari *tip speed ratio*, seperti yang telah dijelaskan di atas.

**Grafik 4. 1 Daya vs V1 (model turbin Mc Cormick)**



**Grafik 4. 2 Daya vs V1 (model turbin Masuda)**



Grafik di atas menunjukkan perbandingan nilai daya yang dihasilkan dengan kecepatan udara. Semakin besar kecepatan udara, maka daya akan semakin besar. Dari perbandingan ini, didapatkan regresi polynomial orde dua, yang dapat kita gunakan untuk menghitung nilai  $P(u)$ , sebagai input perhitungan *annual energy*.

#### 4.2.8 Analisa Perbandingan Energi Tahunan

Parameter yang digunakan untuk melakukan perbandingan adalah menggunakan *Annual Energy*, yaitu energi tahunan yang dapat diperoleh dari turbin tersebut pada suatu tempat yang ditentukan pada waktu satu tahun. Yang mana secara matematis dituliskan sebagai berikut :

$$E_{year} = \frac{8765 \text{ hr}}{\text{Year}} \sum_{V_{cut-in}}^{V_{cut-out}} P(u) \cdot f(u) \cdot \Delta(u)$$

dengan :

$P(u)$  = Daya pada kecepatan tersebut. Dalam analisa ini dipilih kecepatan tengah pada range tersebut

$f(u)$  = Frekuensi probabilitas munculnya suatu kecepatan angin. Dilihat dari data excel. Data dibuat dalam bentuk persentase dari 12 data (12 bulan)

$V_{cut-out}$  = batas kecepatan tertinggi (m/s) = 2.5 m/s

$V_{cut-in}$  = batas kecepatan terendah (m/s) = 1 m/s

$\Delta u$  = Rentang kecepatan, Dalam analisa ini dipilih nilai 0.25 m/s

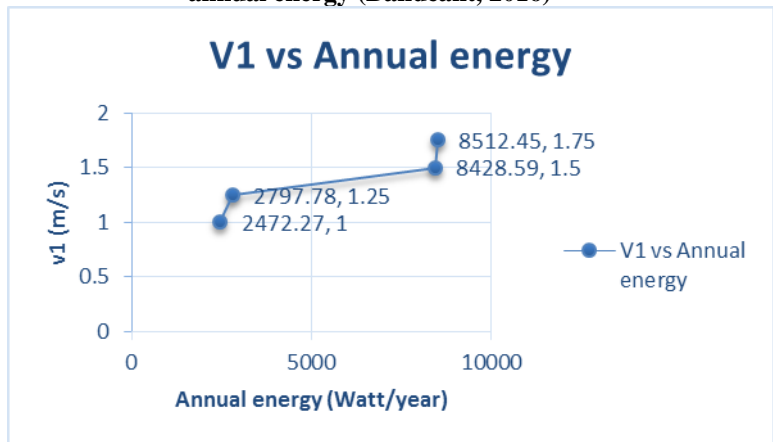
(Det Norske Veritas and Riso National Laboratory. 2002. “*Guidelines for Design of Wind Turbines : 2nd Edition*”. Det Norske Veritas, Copenhagen) .

Berikut adalah tabel dan grafik hasil perhitungan *annual energy* dengan setiap model turbin di setiap lokasi yang telah ditentukan.

**Tabel 4. 27 Annual energy Pantai Bandalit tahun 2016 (model turbin Mc Cormick)**

V1 (m/s)	Frekuensi (%)	Daya (Watt)	$\Delta$ eyear (Watt/year)
1-1.25	0.25	4.513	2472.27
1.25-1.5	0.16	7.980	2797.78
1.5-1.75	0.33	11.656	8428.59
1.75-2.0	0.16	15.539	8512.45
			22211.09

**Grafik 4. 3 Perbandingan kecepatan udara dengan annual energy (Bandalit, 2016)**



Dari tabel 4.27 dan grafik 4.3 dapat diketahui hasil perhitungam *annual energy* yang dihasilkan oleh gelombang laut di Pantai Bandalit tahun 2016, dengan menggunakan model turbin pertama (turbin Mc Cormick).

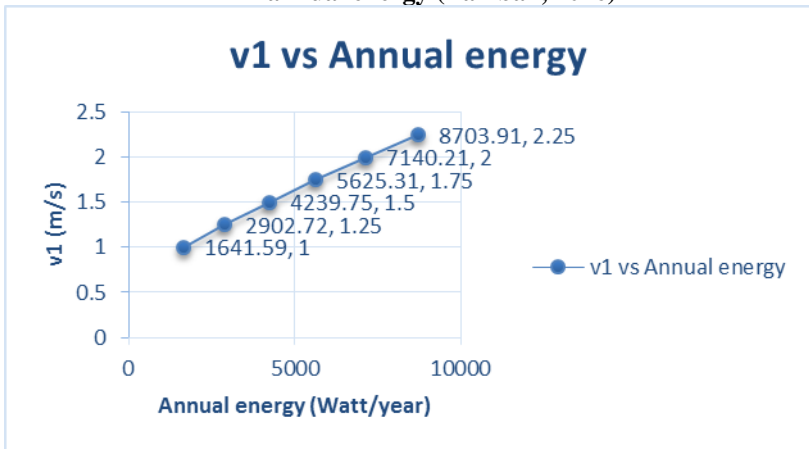
Pada *range* kecepatan udara 1-1,25 m/s dengan frekuensi kemunculan 0,25% dihasilkan *annual energy* sebesar 2472, 27 Watt/year. Nilai ini merupakan yang terkecil yang dihasilkan.

Sedangkan pada kecepatan udara *range* 1,75-2,0 m/s dengan frekuensi kemunculan sebesar 0,16% dihasilkan energi sebesar 8512, 45 Watt/year yang merupakan nilai energi tahunan terbesar yang dihasilkan di Pantai Bandalit pada tahun 2016. Total energi tahunan yang dihasilkan pada tahun 2016 yaitu sebesar 22.211, 09 Watt/year.

**Tabel 4. 28 Annual energy Pantai Tamban tahun 2016 (model turbin Mc Cormick)**

V1 (m/s)	Frekuensi (%)	Daya (Watt)	$\Delta$ eyear (Watt/year)
1-1.25	0.16	4.513	1641.59
1.25-1.5	0.16	7.980	2902.72
1.5-.175	0.16	11.656	4239.75
1.75-2.0	0.16	15.539	5625.31
2.0-2.25	0.16	19.630	7140.21
2.25-2.50	0.16	23.929	8703.91
			30253.49

**Grafik 4. 4 Perbandingan kecepatan udara dengan annual energy (Tamban, 2016)**



Dari tabel 4.28 dan grafik 4.4 dapat diketahui hasil perhitungam *annual energy* yang dihasilkan oleh gelombang laut di Pantai Tamban tahun 2016, dengan menggunakan model turbin pertama (turbin Mc Cormick).

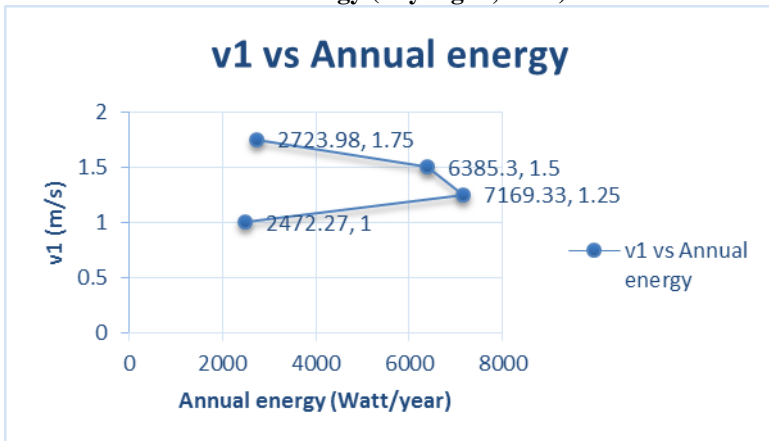
Pada *range* kecepatan udara 1-1,25 m/s dengan frekuensi kemunculan 0,16% dihasilkan *annual energy* sebesar 1641, 59 Watt/year. Nilai ini merupakan yang terkecil yang dihasilkan.

Sedangkan pada kecepatan udara *range* 2,25-2,50 m/s dengan frekuensi kemunculan sebesar 0,16% dihasilkan energi sebesar 8703, 91 Watt/year yang merupakan nilai energi tahunan terbesar yang dihasilkan di Pantai Tamban pada tahun 2016. Total energi tahunan yang dihasilkan pada tahun 2016 yaitu sebesar 30.253, 49 Watt/year.

**Tabel 4. 29 Annual energy Pantai Payangan tahun 2016 (model turbin Mc Cormick)**

V1 (m/s)	Frekuensi (%)	Daya (Watt)	$\Delta$ year (Watt/year)
1-1.25	0.25	4.513	2472.27
1.25-1.5	0.41	7.98	7169.33
1.5-1.75	0.25	16.656	6385.3
1.75-2.0	0.08	15.539	2723.98
			18750.88

**Grafik 4. 5 Perbandingan kecepatan udara dengan annual energy (Payangan, 2016)**



Dari tabel 4.29 dan grafik 4.5 dapat diketahui hasil perhitungam *annual energy* yang dihasilkan oleh gelombang laut di Pantai Payangan tahun 2016, dengan menggunakan model turbin pertama (turbin Mc Cormick).

Pada *range* kecepatan udara 1-1,25 m/s dengan frekuensi kemunculan 0,25% dihasilkan *annual energy* sebesar 2472, 27 Watt/year. Nilai ini merupakan yang terkecil yang dihasilkan.

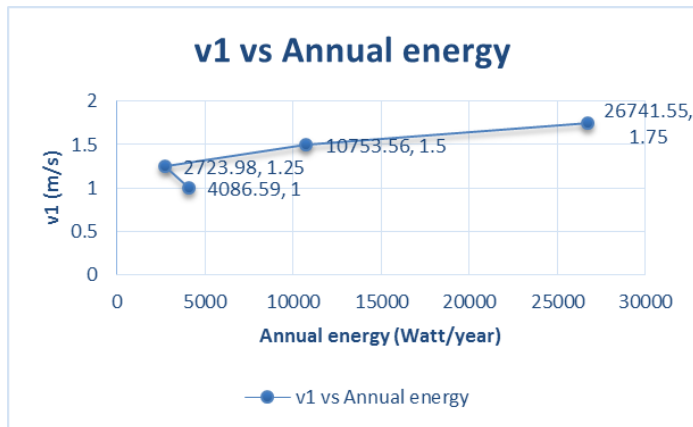


Sedangkan pada kecepatan udara *range* 1,25-1,50 m/s dengan frekuensi kemunculan sebesar 0,41% dihasilkan energi sebesar 7169, 33 Watt/year yang merupakan nilai energi tahunan terbesar yang dihasilkan di Pantai Payangan pada tahun 2016. Total energi tahunan yang dihasilkan pada tahun 2016 yaitu sebesar 18750, 88 Watt/year.

**Tabel 4. 30 Annual energy Pantai Watukarung tahun 2016 (model turbin Mc Cormick)**

V1 (m/s)	Frekuensi (%)	Daya (Watt)	$\Delta$ eyear (Watt/year)
1.5-1.75	0.16	11.656	4086.59
1.75-2.0	0.08	15.539	2723.98
2.0-2.25	0.25	19.630	10753.56
2.25-2.5	0.51	23.929	26741.55
			44305.68

**Grafik 4. 6 Perbandingan kecepatan udara dengan annual energy (Watukarung, 2016)**



Dari tabel 4.30 dan grafik 4.6 dapat diketahui hasil perhitungam *annual energy* yang dihasilkan oleh gelombang laut di Pantai Watukarung tahun 2016, dengan menggunakan model turbin pertama (turbin Mc Cormick).

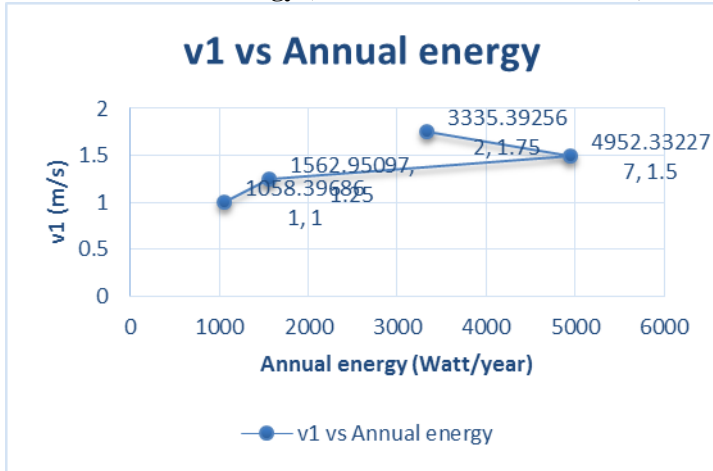
Pada *range* kecepatan udara 1,75-2,0 m/s dengan frekuensi kemunculan 0,08% dihasilkan *annual energy* sebesar 2723, 98 Watt/year. Nilai ini merupakan yang terkecil yang dihasilkan.

Sedangkan pada kecepatan udara range 2,25-2,50 dengan frekuensi kemunculan sebesar 0,51% dihasilkan energi sebesar 26.741, 55 Watt/year yang merupakan nilai energi tahunan terbesar yang dihasilkan di Pantai Watukarung pada tahun 2016. Total energi tahunan yang dihasilkan pada tahun 2016 yaitu sebesar 44.305, 68 Watt/year.

**Tabel 4.31 Annual energy Pantai Bandalit tahun 2016 (model turbin Masuda)**

V1 (m/s)	Frekuensi (%)	Daya (Watt)	$\Delta$ eyear (Watt/year)
1-1.25	0.25	1.932042188	1058.396861
1.25-1.5	0.16	2.971954688	1562.95097
1.5-1.75	0.33	3.913504688	4952.332277
1.75-2.0	0.16	4.756692188	3335.392562
			10909.07267

**Grafik 4. 7 Perbandingan kecepatan udara dengan annual energy (Pantai Bandalit tahun 2016)**



Dari tabel 4.31 dan grafik 4.7 dapat diketahui hasil perhitungam *annual energy* yang dihasilkan oleh gelombang laut di Pantai Bandalit tahun 2016, dengan menggunakan model turbin kedua (turbin Masuda).

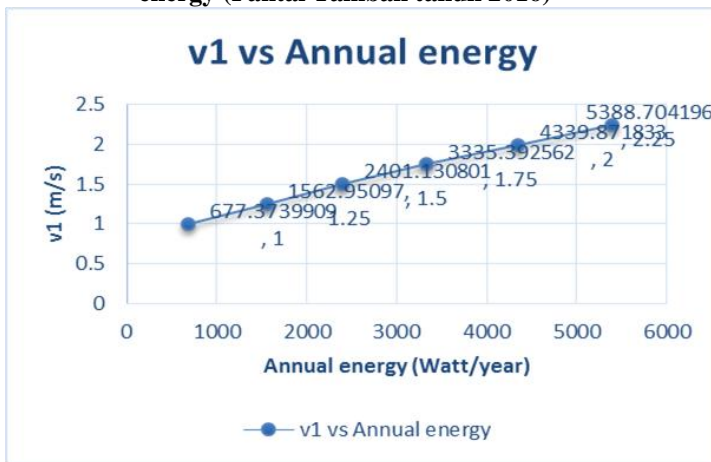
Pada *range* kecepatan udara 1,00-1,25 m/s dengan frekuensi kemunculan 0,25% dihasilkan *annual energy* sebesar 1058, 39 Watt/year. Nilai ini merupakan yang terkecil yang dihasilkan.

Sedangkan pada kecepatan udara *range* 1,50-1,75 m/s dengan frekuensi kemunculan sebesar 0,33% dihasilkan energi sebesar 4952, 33 Watt/year yang merupakan nilai energi tahunan terbesar yang dihasilkan di Pantai Bandalit pada tahun 2016. Total energi tahunan yang dihasilkan pada tahun 2016 yaitu sebesar 10.909, 07 Watt/year.

**Tabel 4. 32 Annual energy Pantai Tamban tahun 2016 (model turbin Masuda)**

V1 (m/s)	Frekuensi (%)	Daya (Watt)	$\Delta$ eyear (Watt/year)
1-1.25	0.16	1.932042188	677.3739909
1.25-1.5	0.16	2.971954688	1562.95097
1.5-1.75	0.16	3.913504688	2401.130801
1.75-2.0	0.16	4.756692188	3335.392562
2.0-2.25	0.16	5.501517188	4339.871833
2.25-2.50	0.16	6.147979688	5388.704196
			17705.42435

**Grafik 4. 8 Perbandingan antara kecepatan udara dengan annual energy (Pantai Tamban tahun 2016)**



Dari tabel 4.32 dan grafik 4.8 dapat diketahui hasil perhitungam *annual energy* yang dihasilkan oleh gelombang laut di Pantai Tamban tahun 2016, dengan menggunakan model turbin kedua (turbin Masuda).

Pada *range* kecepatan udara 1,00-1,25 m/s dengan frekuensi kemunculan 0,16%

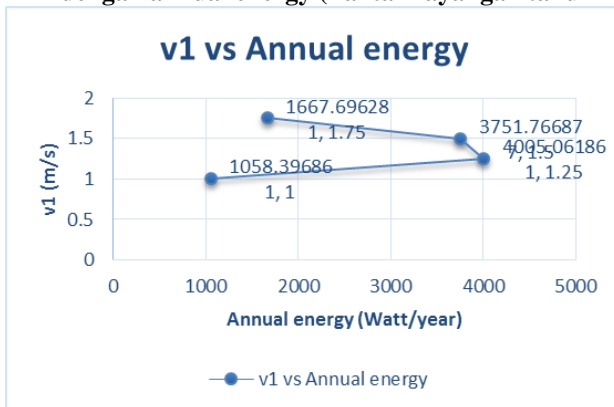
dihasilkan *annual energy* sebesar 677, 37 Watt/year. Nilai ini merupakan yang terkecil yang dihasilkan.

Sedangkan pada kecepatan udara *range* 2,25-2,5 m/s dengan frekuensi kemunculan sebesar 0,16% dihasilkan energi sebesar 5388, 70 Watt/year yang merupakan nilai energi tahunan terbesar yang dihasilkan di Pantai Tamban pada tahun 2016. Total energi tahunan yang dihasilkan pada tahun 2016 yaitu sebesar 17.705, 42 Watt/year.

**Tabel 4. 33 Annual energy Pantai Payangan tahun 2016 (model turbin Masuda)**

V1 (m/s)	Frekuensi (%)	Daya (Watt)	$\Delta$ eyear (Watt/year)
1-1.25	0.25	1.932042188	1058.396861
1.25-1.5	0.41	2.971954688	4005.061861
1.5-1.75	0.25	3.913504688	3751.766877
1.75-2.0	0.08	4.756692188	1667.696281
			10482.92188

**Grafik 4. 9 Perbandingan antara kecepatan udara dengan annual energy (Pantai Payangan tahun 2016)**



Dari tabel 4.33 dan grafik 4.9 dapat diketahui hasil perhitungam *annual energy* yang dihasilkan oleh gelombang laut di Pantai Payangan tahun 2016, dengan menggunakan model turbin kedua (turbin Masuda).

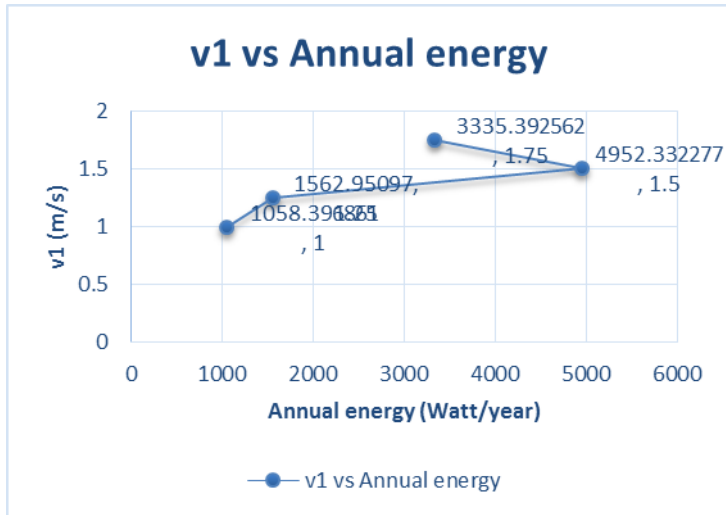
Pada *range* kecepatan udara 1,00-1,25 m/s dengan frekuensi kemunculan 0,25% dihasilkan *annual energy* sebesar 1.058, 39 Watt/year. Nilai ini merupakan yang terkecil yang dihasilkan.

Sedangkan pada kecepatan udara *range* 1,25-1,50 m/s dengan frekuensi kemunculan sebesar 0,41% dihasilkan energi sebesar 4005, 06 Watt/year yang merupakan nilai energi tahunan terbesar yang dihasilkan di Pantai Payangan pada tahun 2016. Total energi tahunan yang dihasilkan pada tahun 2016 yaitu sebesar 10.482, 92 Watt/year.

**Tabel 4. 34 Annual energy Pantai Watukarung tahun 2016 (model turbin Masuda)**

V1 (m/s)	Frekuensi (%)	Daya (Watt)	$\Delta$ eyear (Watt/year)
1.5-1.75	0.16	3.913504688	1058.396861
1.75-2.0	0.08	4.756692188	1562.95097
2.0-2.25	0.25	5.501517188	4952.332277
2.25-2.5	0.51	6.147979688	3335.392562
			10909.07267

**Grafik 4. 10 Perbandingan antara kecepatan udara dengan annual energy (Pantai Watukarung tahun 2016)**



Dari tabel 4.34 dan grafik 4.10 dapat diketahui hasil perhitungam *annual energy* yang dihasilkan oleh gelombang laut di Pantai Watukarung tahun 2016, dengan menggunakan model turbin kedua (turbin Masuda).

Pada *range* kecepatan udara 1,75-2,00 m/s dengan frekuensi kemunculan 0,08% dihasilkan *annual energy* sebesar 1667, 69 Watt/year. Nilai ini merupakan yang terkecil yang dihasilkan.

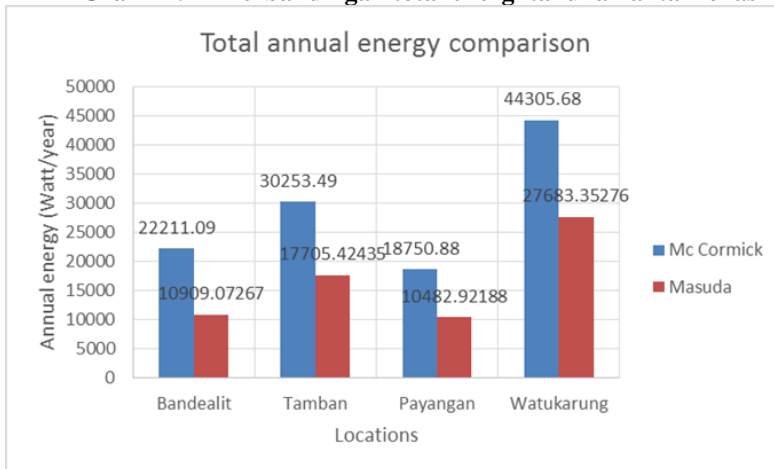
Sedangkan pada kecepatan udara *range* 2, 25-2, 50 m/s dengan frekuensi kemunculan sebesar 0,51% dihasilkan energi sebesar 17.176, 49 Watt/year yang merupakan nilai energi tahunan terbesar yang dihasilkan di Pantai Watukarung pada tahun 2016. Total energi

tahunan yang dihasilkan pada tahun 2016 yaitu sebesar 27.683, 35 Watt/year.

**Tabel 4. 35 Perbandingan total energi tahunan antar lokasi**

McCormick (Watt/year)	Masuda (Watt/year)	Lokasi
22211.09	10909.07267	Bandalit
30253.49	17705.42435	Tamban
18750.88	10482.92188	Payangan
44305.68	27683.35276	Watukarung

**Grafik 4. 11 Perbandingan total energi tahunan antar lokasi**



Setelah perhitungan *annual energy* di seluruh lokasi selesai, maka langkah selanjutnya adalah melakukan perbandingan terhadap *annual energy* yang dihasilkan di setiap lokasi dan setiap jenis turbin, agar dapat ditarik kesimpulan lokasi yang paling tepat untuk penerapan masing-masing jenis turbin.

Dari tabel 4.35 dan grafik 4.11 dapat dilihat bahwa *annual energy* terbesar yang



dihasilkan menggunakan jenis turbin Mc Cormick adalah pantai Watukarung dengan *annual energy* sebesar 44.305, 68 Watt/year. Sedangkan nilai *annual energy* dengan jenis turbin Mc Cormick terkecil dihasilkan di pantai Payangan, yaitu 18.750, 88 Watt/year.

Untuk jenis turbin Masuda, *annual energy* terbesar dihasilkan di pantai Watukarung, yaitu sebesar 27.683, 35 Watt/year, nilai *annual energy* terkecil yaitu 10.482, 92 Watt/year dihasilkan di pantai Payangan.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. a. Dengan menggunakan model turbin Mc Cormick, maka rentang kecepatan udara pada *orifice* yang menghasilkan *annual energy* terbesar adalah:

- Pantai Bandalit, yaitu 1,75-2,0 m/s, menghasilkan *annual energy* sebesar 8512, 45 Watt/year
- Pantai Tamban, yaitu 2,25-2,50 m/s, menghasilkan *annual energy* sebesar 8703, 91 Watt/year
- Pantai Payangan, yaitu 1,25-1,5 m/s, menghasilkan *annual energy* sebesar 7169, 33 Watt/year
- Pantai Watukarung, yaitu 2,25-2,5 m/s, menghasilkan *annual energy* sebesar 26741, 55 Watt/year.

b. Dengan menggunakan model turbin Masuda, maka rentang kecepatan udara pada *orifice* yang menghasilkan *annual energy* terbesar adalah:

- Pantai Bandalit, yaitu 1,50-1,75 m/s, menghasilkan *annual energy* sebesar 4952, 33 Watt/year
- Pantai Tamban, yaitu 2,25-2,50 m/s, menghasilkan *annual energy* sebesar 5388, 70 Watt/year

- Pantai Payangan, yaitu 1,25-1,5 m/s, menghasilkan *annual energy* sebesar 4005, 06 Watt/year
- Pantai Watukarung, yaitu 2,00-2,25 m/s, menghasilkan *annual energy* sebesar 6781, 04 Watt/year.

2. a. Dengan menggunakan model turbin Mc Cormick, maka total energi tahunan yang dihasilkan di setiap lokasi, adalah sebagai berikut;

- Pantai Bandalit menghasilkan *total annual energy* sebesar 22.211, 09 Watt/year
- Pantai Tamban, menghasilkan *total annual energy* sebesar 30.253, 49 Watt/year
- Pantai Payangan, menghasilkan *total annual energy* sebesar 18.750, 88 Watt/year
- Pantai Watukarung, menghasilkan *total annual energy* sebesar 44.305, 68 Watt/year.

b. Dengan menggunakan model turbin Masuda, maka total energi tahunan yang dihasilkan di setiap lokasi, adalah sebagai berikut;

- Pantai Bandalit menghasilkan *total annual energy* sebesar 10.909, 07 Watt/year
- Pantai Tamban, menghasilkan *total annual energy* sebesar 17.705, 42 Watt/year
- Pantai Payangan, menghasilkan *total annual energy* sebesar 10.482, 92 Watt/year
- Pantai Watukarung, menghasilkan *total annual energy* sebesar 27.683, 35 Watt/year.

3. a. Berdasarkan hasil perhitungan *total annual energy*, lokasi yang menguntungkan untuk instalasi turbin Mc Cormick: Pantai Watukarung, Pantai Tamban, Pantai Bandialit, Pantai Payangan.

b. Berdasarkan hasil perhitungan *total annual energy*, lokasi yang menguntungkan untuk instalasi turbin Masuda: Pantai Watukarung, Pantai Tamban, Pantai Bandialit, Pantai Payangan.

4. *Annual energy* yang dihasilkan bergantung pada beberapa faktor yaitu  $P(u)$  daya pada kecepatan tersebut,  $f(u)$  frekuensi probabilitas munculnya kecepatan udara tersebut dalam waktu dua belas bulan,  $\Delta u$  range kecepatan udara, yaitu sebesar 0,25 m/s,  $v_{cut-out}$  yaitu kecepatan udara terbesar,  $v_{cut-in}$  yaitu kecepatan udara terkecil, konstanta 8765, yaitu jumlah jam dalam satu tahun, dan durasi (lama waktu) dari perhitungan *annual energy* (dalam penelitian ini selama satu tahun).



## DAFTAR PUSTAKA

*Air Turbines for Wave Energy Conversion*. **Takao, Manabu and Setoguchi, Toshiaki. 2012.** Saga-shi : International Journal of Rotating Machinery, Hindawi Publishing Corporation, 2012, Vol. 2012.

**Ardianto. 1996.** *Studi Pemanfaatan Energi Gelombang Laut Untuk Pembangkit Listrik Tipe Taper Channel di Baron*, Yogyakarta. Surabaya : s.n., 1996.

**Arifin. 2005.** *Analisa Numerik Perbandingan Pada Sistem Konversi Energi Gelombang Laut Jenis OWC Dengan Bottom Entrance dan Lateral Entrance*. Surabaya : s.n., 2005.

*Design of Oscillating Water Column Wave Energy Converters With an Application to Self-powered sensor buoys*. **Henriques, J.C.C, et al. 2016.** Lisbon : Instituto Superior Tecnico, Universidade de Lisboa, 2016.

**Firdhaus, Moh. Iqbal. 2016.** *Studi Perancangan PLTGL Tipe OWC Fixed dengan Turbin Mc Cormick di Pantai Bandalit, Jember*. 2016.

**2002.** *Guidelines for Design of Wind Turbines; Det Norske Veritas and Riso Laboratory*. Copenhagen : Jydsk Centraltrykkeri, 2002. ISBN 87-550-2870-5.

**J, Constans. 1979.** *Marine Sources of Energy*. New York : Pergamon Press, 1979.

**Mc Cormick, M.E Johnson, et al. 1981.** *Wave Energy Conversion*. Boston : John Wiley Sons Inc, 1981.

**Priandoko, Yuno. 2015.** *Studi Perencanaan PLTGL Tipe OWC Fixed dengan Katup Masuda di Pantai Bandalit, Kabupaten Jember*. Surabaya : s.n., 2015.

*Publishable Report of Islay LIMPET Power Plant*. **LIMPET, ISLAY. 2002.** 2002.

**Rahadyawan. 2009.** *Wave Power Plant Study Type Oscillating Water Column*. Surabaya : s.n., 2009.

**Rahmatulloh, Alex. 2013.** *Studi Perancangan Sistem Konversi Energi Gelombang Laut Tipe OWC di Daerah Bandialit, Jember.* Surabaya : s.n., 2013.

**Ratna, R. 2010.** *Studi Perancangan Sistem Konversi Energi Gelombang Laut Tipe OWC di Pantai Pengambangan Bali.* Surabaya : s.n., 2010.

*Tip Clearance Effect on The Flow of a Radial Impulse Turbine for Wave Energy Conversion.* **Pereiras, Bruno, et al. 2011.** Valladolid : Department of Energy and Fluids Mechanic, 2011, Vol. 133.

**Triatmodjo, Bambang. 1999.** *Teknik Pantai.* Yogyakarta : Beta Offset, 1999.

**W, Thrope T. 1991.** *A Brief Review of Wave Energy.* London : UK Department of Trade and Industry, 1991.  
www.brighthubengineering.com. [Online]

**Zuhal, Muhammad. 1998.** *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya.* 1998.



## **LAMPIRAN**



## BIODATA PENULIS

Penulis bernama Risa Setyaningsih, lahir di Purworejo 14 Juni 1995, merupakan anak ke-3 dari pasangan Sugiyanto, S.E dan Tyni Rahayuningsih S.Pd. Penulis lahir dan besar di kota Purworejo, Jawa Tengah. Lulus dari TK Pertiwi desa Grantung tahun 2001, kemudian melanjutkan pendidikan di SD Negeri Grantung dan lulus pada tahun 2007, jenjang pendidikan SMP dilanjutkan oleh Penulis di

daerah yang sama yaitu SMP Negeri 2 Purworejo, dimana Penulis lulus sebagai salah satu alumni terbaik pada tahun 2010. Jenjang pendidikan atas dilanjutkan oleh Penulis masih di daerah yang sama, yaitu SMA Negeri 1 Purworejo, lulus pada tahun 2013. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan menjadi pilihan pertama saat Penulis menjalani seleksi SNMPTN, dinyatakan diterima pada tahun 2013. Semasa kuliah, Penulis aktif di berbagai kegiatan HIMASISKAL FTK ITS, sebagai seorang *steering committee* kaderisasi dan sie acara pada *big event* Marine Icon. Selain itu, penulis juga aktif sebagai member dan grader laboratorium listrik perkapalan dan otomasi, tempat dimana Penulis menyelesaikan skripsi.

Motto: *Life will not last, have a blast!*